

# ASOCIO

Asociación Colombiana de  
Investigación Operativa



## CONGRESO COLOMBIANO DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

© 2019 by ASOCIO Colombia.  
NIT. 900886337-3

ISSN en trámite

CONGRESO COLOMBIANO DE  
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

Julio 15 y 16, 2015, Chía (Cundinamarca), Colombia  
"LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES EN  
COLOMBIA: UNA MIRADA HACIA EL FUTURO DE LA TOMA DE DECISIONES"

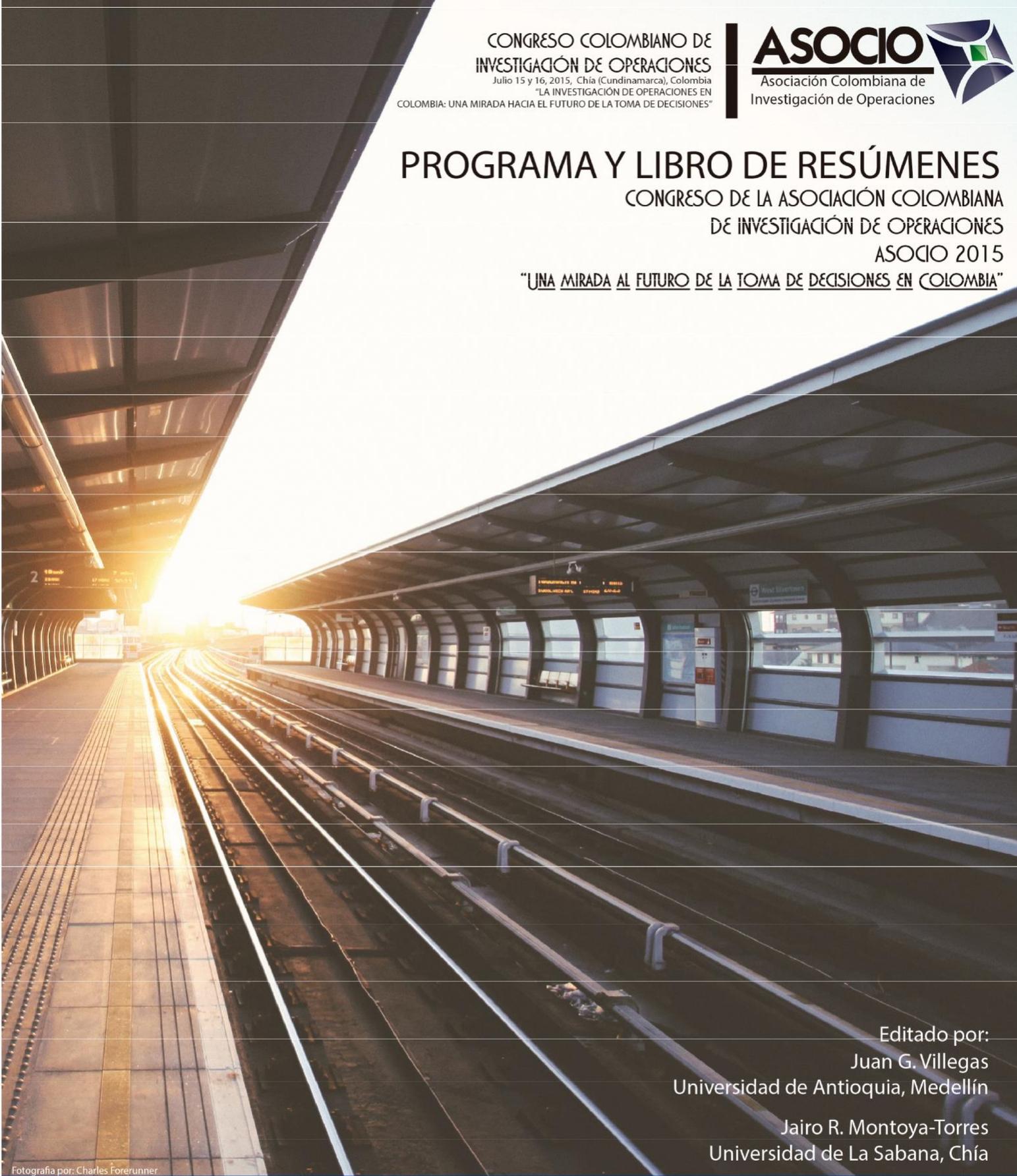


# PROGRAMA Y LIBRO DE RESÚMENES

CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA  
DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

ASOCIO 2015

"UNA MIRADA AL FUTURO DE LA TOMA DE DECISIONES EN COLOMBIA"



Fotografía por: Charles Forerunner

Editado por:  
Juan G. Villegas  
Universidad de Antioquia, Medellín

Jairo R. Montoya-Torres  
Universidad de La Sabana, Chía



Universidad de  
**La Sabana**

Julio 15-16, 2015  
Universidad de La Sabana  
Campus del Puente del Común  
Km 7 autopista norte de Bogotá, D.C.  
Chía (Cundinamarca), Colombia

**Comité Directivo de ASOCIO**

David Barrera  
*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*  
Juan José Bravo  
*Universidad del Valle, Cali*  
Jairo Coronado-Hernandez  
*Jaracohe S.A.S., Cartagena*  
Francisco Javier Díaz  
*Universidad Nacional de Colombia, Medellín*  
John W. Escobar  
*Pontificia Universidad Javeriana, Cali*  
Juan Pablo Fernández  
*Universidad de Medellín*  
Andrés Medaglia  
*Universidad de los Andes, Bogotá*  
Jorge Mendoza  
*Université de Tours, Francia*  
Jairo R. Montoya Torres  
*Universidad de La Sabana, Chía*  
Carlos D. Paternina Arboleda  
*Universidad del Norte, Barranquilla*  
Eliana Toro  
*Universidad Tecnológica de Pereira*  
Juan G. Villegas  
*Universidad de Antioquia, Medellín*

**Comité de Organización**

Grupo de investigación "Operations & Supply Chain Management", Universidad de La Sabana, Chía  
Líder: Jairo R. Montoya-Torres  
Ana Ximena Halabi Echeverry  
Jairo A. Jarrín Quintero  
Vanessa P. Manotas Niño  
Andrés Felipe Muñoz Villamizar  
Elyn L. Solano Charris  
Lorena S. Reyes Rubiano  
Carlos L. Quintero Araújo  
Carlos A. Vega-Mejía

**Diseño de afiche y portada**

Javier Castrillón  
*Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín*

**Página web**

Johanna Roza  
*Universidad de La Sabana, Chía*

**Comunicaciones**

Carolina Castañeda  
*Universidad de Antioquia, Medellín*

**Apoyo administrativo**

Lyda Ramírez & Dora Palacios  
*Universidad de La Sabana, Chía*

**Comité Científico del Congreso**

Rolando José Acosta Amado  
*Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga*  
Jorge Andrés Alvarado Valencia  
*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*  
David Barrera  
*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*  
Juan José Bravo  
*Universidad del Valle, Cali*  
Lauren Castro  
*Universidad de la Costa, Barranquilla*  
*Fundación Centro de Modelamiento Empresarial del Caribe (FCIMEC), Barranquilla*  
Jairo Coronado-Hernandez  
*Jaracohe S.A.S., Cartagena*  
Francisco Javier Díaz  
*Universidad Nacional de Colombia, Medellín*  
John W. Escobar  
*Pontificia Universidad Javeriana, Cali*  
Juan Pablo Fernández  
*Universidad de Medellín*  
William Guerrero  
*Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá*  
Ana Ximena Halabi  
*Universidad de La Sabana, Chía*  
Henry Lamos  
*Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga*  
Andrés Medaglia  
*Universidad de los Andes, Bogotá*  
Gonzalo Mejía  
*Universidad de los Andes, Bogotá*  
Christopher Mejía  
*Fundación Logyca, Bogotá*  
Jorge Mendoza  
*Universidad de Tours, Francia*  
Jairo R. Montoya-Torres  
*Universidad de La Sabana, Chía*  
Carlos D. Paternina  
*Universidad del Norte, Barranquilla*  
Luis Ramírez  
*Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla*  
*Fundación Centro de Modelamiento Empresarial del Caribe (FCIMEC), Barranquilla*  
Diana Ramírez  
*Fundación Centro de Modelamiento Empresarial del Caribe (FCIMEC), Barranquilla*  
Miguel Rojas Santiago  
*Universidad del Norte, Barranquilla*  
Eliana Toro  
*Universidad Tecnológica de Pereira*  
Mario C. Vélez  
*Universidad EAFIT, Medellín*  
Carlos Julio Vidal  
*Universidad del Valle, Cali*  
Juan G. Villegas  
*Universidad de Antioquia, Medellín*

## **Contenido**

<b>1. Saludos de bienvenida .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Tutoriales .....</b>	<b>4-5</b>
<b>3. Mapa del Campus .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Programa académico general.....</b>	<b>7-21</b>
<b>5. Resúmenes de las ponencias .....</b>	<b>22-63</b>
<b>6. Notas.....</b>	<b>63</b>



CONGRESO COLOMBIANO DE  
INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

Julio 15 y 16, 2015, Chía (Cundinamarca), Colombia  
"LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES EN  
COLOMBIA: UNA MIRADA HACIA EL FUTURO DE LA TOMA DE DECISIONES"



# PROGRAMA Y LIBRO DE RESÚMENES

CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA  
DE INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

ASOCIO 2015

"UNA MIRADA AL FUTURO DE LA TOMA DE DECISIONES EN COLOMBIA"

Editado por:

Juan G. Villegas

Universidad de Antioquia, Medellín

Jairo R. Montoya-Torres

Universidad de La Sabana, Chía

Fotografía por: Charles Forerunner



Universidad de  
**La Sabana**

Julio 15-16, 2015  
Universidad de La Sabana  
Campus del Puente del Común  
Km 7 autopista norte de Bogotá, D.C.  
Chía (Cundinamarca), Colombia

**Comité Directivo de ASOCIO**

David Barrera  
*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*  
Juan José Bravo  
*Universidad del Valle, Cali*  
Jairo Coronado-Hernandez  
*Jaracohe S.A.S., Cartagena*  
Francisco Javier Díaz  
*Universidad Nacional de Colombia, Medellín*  
John W. Escobar  
*Pontificia Universidad Javeriana, Cali*  
Juan Pablo Fernández  
*Universidad de Medellín*  
Andrés Medaglia  
*Universidad de los Andes, Bogotá*  
Jorge Mendoza  
*Université de Tours, Francia*  
Jairo R. Montoya Torres  
*Universidad de La Sabana, Chía*  
Carlos D. Paternina Arboleda  
*Universidad del Norte, Barranquilla*  
Eliana Toro  
*Universidad Tecnológica de Pereira*  
Juan G. Villegas  
*Universidad de Antioquia, Medellín*

**Comité de Organización**

Grupo de investigación "Operations & Supply Chain Management", Universidad de La Sabana, Chía  
Líder: Jairo R. Montoya-Torres  
Ana Ximena Halabi Echeverry  
Jairo A. Jarrín Quintero  
Vanessa P. Manotas Niño  
Andrés Felipe Muñoz Villamizar  
Elyn L. Solano Charris  
Lorena S. Reyes Rubiano  
Carlos L. Quintero Araújo  
Carlos A. Vega-Mejía

**Diseño de afiche y portada**

Javier Castrillón  
*Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín*

**Página web**

Johanna Roza  
*Universidad de La Sabana, Chía*

**Comunicaciones**

Carolina Castañeda  
*Universidad de Antioquia, Medellín*

**Apoyo administrativo**

Lyda Ramírez & Dora Palacios  
*Universidad de La Sabana, Chía*

**Comité Científico del Congreso**

Rolando José Acosta Amado  
*Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga*  
Jorge Andrés Alvarado Valencia  
*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*  
David Barrera  
*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*  
Juan José Bravo  
*Universidad del Valle, Cali*  
Lauren Castro  
*Universidad de la Costa, Barranquilla*  
*Fundación Centro de Modelamiento Empresarial del Caribe (FCIMEC), Barranquilla*  
Jairo Coronado-Hernandez  
*Jaracohe S.A.S., Cartagena*  
Francisco Javier Díaz  
*Universidad Nacional de Colombia, Medellín*  
John W. Escobar  
*Pontificia Universidad Javeriana, Cali*  
Juan Pablo Fernández  
*Universidad de Medellín*  
William Guerrero  
*Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá*  
Ana Ximena Halabi  
*Universidad de La Sabana, Chía*  
Henry Lamos  
*Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga*  
Andrés Medaglia  
*Universidad de los Andes, Bogotá*  
Gonzalo Mejía  
*Universidad de los Andes, Bogotá*  
Christopher Mejía  
*Fundación Logyca, Bogotá*  
Jorge Mendoza  
*Universidad de Tours, Francia*  
Jairo R. Montoya-Torres  
*Universidad de La Sabana, Chía*  
Carlos D. Paternina  
*Universidad del Norte, Barranquilla*  
Luis Ramírez  
*Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla*  
*Fundación Centro de Modelamiento Empresarial del Caribe (FCIMEC), Barranquilla*  
Diana Ramírez  
*Fundación Centro de Modelamiento Empresarial del Caribe (FCIMEC), Barranquilla*  
Miguel Rojas Santiago  
*Universidad del Norte, Barranquilla*  
Eliana Toro  
*Universidad Tecnológica de Pereira*  
Mario C. Vélez  
*Universidad EAFIT, Medellín*  
Carlos Julio Vidal  
*Universidad del Valle, Cali*  
Juan G. Villegas  
*Universidad de Antioquia, Medellín*

## Saludos de bienvenida

¡Gracias por mostrar que la Investigación de Operaciones en Colombia está más viva que nunca!

Quiero empezar agradeciéndole a cada uno de los asistentes al congreso por la respuesta tan satisfactoria que le dieron al llamado a contribuciones. Cuando empezamos a planear la organización del congreso, ni el más optimista de los pronósticos llegaba a un centenar de trabajos. Hoy podemos ofrecerles un programa con cerca de 140 ponencias organizadas en sesiones paralelas que cubren un amplio espectro de las herramientas y metodologías de la Investigación de Operaciones y sus aplicaciones.

Esperamos que el Congreso de ASOCIO, que se organizará bienalmente, se constituya en un espacio en el que los académicos, estudiantes y profesionales de la Investigación de Operaciones Colombiana puedan dar a conocer sus trabajos. Igualmente, que éste sea el lugar en el que puedan conocer nuevos colegas de otras universidades y organizaciones para intercambiar ideas y discutir puntos de vista complementarios, y porque no, para iniciar nuevas colaboraciones.

Quiero agradecer a los investigadores que dictarán los cinco tutoriales pues enriquecen el programa compartiéndonos su experiencia y conocimiento en áreas tan importantes para la investigación de operaciones como la optimización en redes, las aplicaciones portuarias, la metaheurística, la logística urbana y las cadenas de Markov aplicadas a los sistemas productivos.

Así mismo, es importante reconocer el trabajo esmerado que el comité organizador, en cabeza del profesor Jairo R. Montoya Torres, ha realizado para que este sea uno de los mejores congresos a los que hayamos asistido. Igualmente, gracias a la Universidad de La Sabana por acogernos en su campus durante estos dos días.

En nombre la Asociación les doy la bienvenida a la primera edición del que esperamos sea un congreso de larga tradición entre la comunidad de Investigación de Operaciones del país.



**Juan G. Villegas**  
Presidente ASOCIO  
Asociación Colombiana  
de Investigación de  
Operaciones

¡Bienvenidos a la Universidad de La Sabana!

Es para mí un gran honor y place recibirlos a todos en el Campus Universitario del Puente del Común durante el Congreso de la Asociación Colombiana de Investigación de Operaciones (ASOCIO 2015). El tema del congreso de este año es “La Investigación de Operaciones en Colombia: Una mirada al futuro”. Este tema fue escogido de forma intencional: simboliza una nueva etapa de la comunidad de Investigación de Operaciones en Colombia. Habiendo sido fundada oficialmente en Octubre de 2014, éste se constituye en el primer congreso oficial de la nueva Asociación de la comunidad colombiana de IO.

El programa académico es bastante rico gracias a la participación activa de la comunidad de IO. Éste cuenta con una conferencia plenaria dictada por nuestro primer presidente de la asociación, cinco tutoriales dictados por reconocidos investigadores a nivel nacional e internacional, y un total 41 sesiones técnicas.

La organización de un evento académico de tal magnitud ha requerido la participación de varias personas. En primer lugar, en nombre de toda la Universidad de La Sabana, extiendo mis sinceros agradecimientos al Consejo Directivo de ASOCIO, por todo el apoyo y confianza manifestados para organizar el evento en nuestro campus. Este gran éxito académico del evento es gracias a la capacidad de convocatoria de sus miembros. A nivel interno, los créditos de la organización corresponden a todo el apoyo administrativo recibido de diferentes personas y unidades internas en la universidad.

Una vez más, bienvenidos todos a la Universidad de La Sabana. Confiamos en que disfrutarán el ambiente académico del congreso.



**Jairo R. Montoya Torres**  
Comité Organizador  
Congreso ASOCIO 2015

## Tutoriales

### **Modelos de elección discreta para selección de puertos y modos de transporte: Una revisión prospectiva**

Miércoles Julio 15, 2015, 11:00 a.m. a 12:00 m. – Salón G-109

**Carlos D. Paternina A.**

*Universidad del Norte, Barranquilla*

Los métodos de elección discreta aplicados al transporte crecieron rápidamente durante los años 1990 y mostraron su efectividad para estimar modelos de demanda de transporte, las fuentes que tratan estos métodos y sus aplicaciones siguen algo dispersos en la literatura. Se suele revisar los modelos Logit y sus aplicaciones, pero generalmente sin el detalle suficiente para un uso práctico en logística y transporte. Este tutorial revisa la teoría de utilidad subyacente al problema de la elección discreta, así como los métodos estadísticos y las aplicaciones básicas de los modelos Logit en la estimación de la demanda de transporte; muestra ejercicios numéricos que, con ejemplos prácticos, familiariza al auditorio con elecciones discretas y muestra modelos asociados a estructuras de transporte y distribución de carga. Se presenta también una presentación introductoria hacia modelos más avanzados de estimación de la demanda asociados a modelos de transporte y distribución.



### **El método del pulso: una estrategia modular para la solución de problemas de ruta más corta difíciles**

Miércoles Julio 15, 2015, 1:30 p.m. a 2:30 p.m. – Salón G-109

**Andrés Medaglia**

*Universidad de los Andes, Bogotá*



La solución de problemas prácticos de optimización que surgen en el transporte y la logística involucra con frecuencia la solución de sub-problemas con estructuras de ruta más corta sobre redes de gran escala. En este tutorial, se presenta el método del pulso el cual es una estrategia de solución exacta para resolver problemas de ruta más corta con restricciones adicionales. La idea principal del método es la enumeración implícita del espacio de solución soportada por estrategias de eliminación que descartan eficientemente un número importante de soluciones sub-óptimas. El método se apoya en componentes generales que pueden extenderse fácilmente a diferentes problemas y en componentes específicos que se basan en las características particulares del problema bajo estudio (i.e., la estructura de la red) que pueden ser usados como módulos. Las variantes del problema de ruta más corta en las cuales se ha aplicado exitosamente este método son: ruta más corta restringida, ruta más corta biobjetivo, ruta más corta elemental con restricción de recursos, el problema de orientación con ventanas de tiempo y ruta más corta con reaprovisionamiento. En el tutorial se presentan aspectos claves del método para cada una de las aplicaciones y se describen pautas para otras variantes del problema de ruta más corta.

### **Estrategias de granularidad computacional para problemas de ruteo de vehículos**

Miércoles Julio 15, 2015, 2:30 p.m. a 3:30 p.m. – Salón G-109

**John Wilmer Escobar**

*Pontificia Universidad Javeriana, Cali*

En algoritmos meta-heurísticos basados en búsqueda local para problemas de ruteo de vehículos, el número de vecindades que se puede alcanzar con un movimiento simple crece directamente con las dimensiones del problema. Para reducir considerablemente el tiempo de cálculo requerido en la evaluación de vecindades, se han propuesto estrategias de granularidad computacional. La idea fundamental de las estrategias de granularidad es encontrar soluciones de gran calidad en tiempos computacionales reducidos, definiendo una implementación efectiva de una “lista de candidatos”, la cual contiene “vecindarios prometedoros” a visitar durante la ejecución de los algoritmos. En particular, buenos vecindarios son visitados, acotando la región de búsqueda mediante el descarte de una gran cantidad de soluciones “no prometedoras” y explorando sólo un subconjunto que contiene soluciones “prometedoras”. En este tutorial se mostrarán algunas aplicaciones exitosas en el diseño estrategias granulares para algunas variantes de problema de ruteo de vehículos.



**Logística en mega-ciudades:**

**Sus retos y su solución mediante la optimización combinada con la visualización avanzada**

Jueves Julio 16, 2015, 9:00 a.m. a 10:00 a.m. – Salón G-109

**Christopher Mejía**

*Fundación Logyca, Bogotá*



La urbanización es cada vez mayor en los mercados emergentes, debido a que las personas migran a las ciudades en busca de mejores oportunidades, mayores salarios, mejor educación y mejores servicios de salud; por lo que Latinoamérica presenta la tasa más alta de urbanización (79%) de los mercados emergentes. Por otro lado, la distribución de mercancías es una actividad importante en las zonas urbanas, ya que garantiza el suministro de productos a diversos establecimientos; pero al enfrentarse a la dificultad del acceso, la fragmentación del mercado, carencia de infraestructura, altos costos de transporte, tamaño pequeño de la orden, altas frecuencias de visita, congestión vehicular, entre otros aspectos resulta muy compleja. Al respecto se pueden proponer un conjunto de herramientas de optimización a nivel de distribución urbana que permitan hacer un uso eficiente de los recursos disponibles. Si a estas metodologías se une la visualización avanzada que permite un Sistema de información geográfica, los visualizadores de GPS, la analítica de datos, entre otras herramientas, el resultado brinda la oportunidad a los decisores de concentrarse en la analítica de las soluciones y a realizar una toma de decisiones mucho más asertiva.

**Modelos Markovianos y probabilidades condicionales Bayesianas aplicados en la estimación de los costos de producción y el tiempo total de ciclo**

Jueves Julio 16, 2015, 10:00 a.m. a 11:00 a.m. – Salón G-109

**Rodrigo Barbosa Correa**

*Universidad del Norte, Barranquilla*

En los procesos industriales de etapas secuenciales, no siempre todas las unidades inicialmente programadas llegan a la etapa de producto terminado conforme (estado absorbente), debido a operaciones de reproceso y a la fracción de las unidades que resultan no conformes al finalizar la producción. Además, en la inspección por muestreo las probabilidades condicionales Bayesianas de validez y de predicción pueden incidir en el rechazo o aceptación de las unidades producidas. Por lo tanto, para calcular el costo de las unidades conformes, además de los costos directos de producción, se deben tener en cuenta los costos por re-procesos, ya que las unidades reprocesadas visitan más de una vez las operaciones respectivas. Este tutorial tiene como objetivo ilustrar la aplicación de Modelos Markovianos con estados absorbentes y Modelos Bayesianos para estimar el costo promedio equivalente por unidad conforme y el tiempo total promedio del ciclo de producción.



## Mapa del Campus

### Mapa de la Universidad



#### Localización de salones

Actividad	Localización	Identificador en el mapa
Apertura	Auditorio David Mejía Velilla – Bloque D	6
Conferencia plenaria	Auditorio David Mejía Velilla – Bloque D	6
Asamblea ASOCIO	Edificio G	9
Sesiones paralelas	Salones G-101, G-102, G-103, G-104, G-105, G-106, G-108	9
Tutoriales	Edificio G Salón G-109	9

## Programa académico general

Hora inicial	Hora final	DÍA 1: Miércoles Julio 15, 2015							
8:00	14:00	Registro de participantes (edificio D, junto al auditorio David Mejía Velilla)							
9:30	10:30	<b>Acto de apertura e instalación y Conferencia plenaria</b> Lugar: Auditorio David Mejía Velilla (Edificio D)							
10:30	11:00	Refrigerio							
		<b>Sesiones paralelas (Lugar: Edificio G)</b>							
		<b>Salón G-101</b>	<b>Salón G-102</b>	<b>Salón G-103</b>	<b>Salón G-104</b>	<b>Salón G-105</b>	<b>Salón G-106</b>	<b>Salón G-108</b>	<b>Salón G-109</b>
		Sesión M1.1	Sesión M1.2	Sesión M1.3	Sesión M1.4	Sesión M1.5	Sesión M1.6	Sesión M1.7	Tutorial 1
11:00	12:20	Programación matemática I	Scheduling	Transporte de pasajeros	Teoría de Juegos y Revenue Management	Planeación de producción y operaciones	Sostenibilidad en cadenas logísticas	Problemas de ruteo-inventario	Modelos de elección discreta para selección de puertos y modos de transporte: Una revisión prospectiva Dr. Carlos Paternina
12:30	13:30	Almuerzo libre							
		Sesión M2.1	Sesión M2.2	Sesión M2.3	Sesión M2.4	Sesión M2.5	Sesión M2.6	Sesión M2.7	Tutorial 3
13:30	14:30	Programación matemática II	Diseño y gestión de sistemas de producción I	Problemas de enrutamiento I	Diseño y gestión de cadenas logísticas I	Agroindustria I	Simulación I	Modelos estocásticos y probabilísticos I	El método del pulso: una estrategia modular para la solución de problemas de ruta más corta difíciles Dr. Andrés Medaglia
		Sesión M3.1	Sesión M3.2	Sesión M3.3	Sesión M3.4	Sesión M3.5	Sesión M3.6	Sesión M3.7	Tutorial 4
14:30	15:30	Logística urbana	Diseño y gestión de sistemas de producción II	Problemas de enrutamiento II	Diseño y gestión de cadenas logísticas II	Agroindustria II	Simulación II	Sistemas de salud I	Estrategias de granularidad computacional para problemas de ruteo de vehículos Dr. John W. Escobar
15:30	16:00	Refrigerio							
16:00		<b>Asamblea ASOCIO</b> Lugar: Auditorio David Mejía Velilla (Edificio D)							

Hora inicial	Hora final	DÍA 2: Jueves Julio 16, 2015							
8:00	11:00	Registro de participantes							
		<b>Salón G-101</b>	<b>Salón G-102</b>	<b>Salón G-103</b>	<b>Salón G-104</b>	<b>Salón G-105</b>	<b>Salón G-106</b>	<b>Salón G-108</b>	<b>Salón G-109</b>
		Sesión J1.1	Sesión J1.2	Sesión J1.3	Sesión J1.4	Sesión J1.5	Sesión J1.6	Sesión J1.7	Tutorial 4
9:00	10:00	Data mining, Data text	Simulación III	Optimización multicriterio / multiobjetivo	Problemas de producción-distribución	Sistemas de salud II	Modelos estocásticos y probabilísticos II	Dinámica de Sistemas	Logística en megaciudades: sus retos y su solución mediante la optimización combinada con la visualización avanzada Dr. Christopher Mejía
		Sesión J2.1	Sesión J2.2	Sesión J2.3	Sesión J2.4	Sesión J2.5	Sesión J2.6	Sesión J2.7	Tutorial 5
10:00	11:00	Aplicaciones en servicios públicos	Simulación IV	Diseño y gestión de cadenas logísticas III	Meta-heurísticos I	Sistemas de salud III	Sector educativo	Problemas de localización-ruteo	Modelos Markovianos y probabilidades condicionales Bayesianas aplicados en la estimación de los costos de producción y el tiempo total de ciclo Pr. Dr. Rodrigo Barbosa Correa
11:00	11:30	Break							
		Sesión J3.1	Sesión J3.2	Sesión J3.3	Sesión J3.4	Sesión J3.5	Sesión J3.6		
11:30	12:30	Logística Humanitaria	Simulación V	Problemas de empaquetamiento	Meta-heurísticos II	Sistemas de salud IV	Problemas de enrutamiento III		
12:30	13:30	Almuerzo libre Fin del Congreso							

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Programación matemática I**

Horario: 11:00 a.m. a 12:20 p.m.

Lugar: Salón G-101

**Chair: Pablo Maya**

11:00 am - 11:20 am	#103	Asignación de vehículos a muelles de entrada y salida en una plataforma de cross docking a través de un modelo de programación lineal entera mixta (MILP) <i>Andrés Paredes Rodríguez, Alejandra Ordoñez Patiño, Andrés Salazar Ramos</i>
11:20 am - 11:40 am	#10	An extractive model to estimate the impact of overemployment and subsidized domestic fuel price on National Oil Companies <i>Sergio Cabrales, Rafael Bautista, Juan Benavides</i>
11:40 am - 12:00 am	#127	Modelo de programación lineal entera para un canje de "suertes" de caña de azúcar <i>Mariela Galindo, Carlos Julio Vidal</i>
12:00 am - 12:20 am	#52	Elaboración de un modelo lineal para la asignación de horarios de clase <i>Juan Marín, Pablo Maya</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Scheduling**

Horario: 11:00 a.m. a 12:20 p.m.

Lugar: Salón G-102

**Chair: Mario César Vélez**

11:00 am - 11:20 am	#36	Estudio del impacto del tamaño de lote de transferencia en el desempeño de un sistema productivo tipo job shop considerando tiempos de transporte <i>Myriam Niño López, Henry Lamos Díaz, Paula Jaimes Sanmiguel, Vanessa Rivera González</i>
11:20 am - 11:40 am	#2	Programación del personal con tiempos de procesamiento dependientes de la secuencia <i>Carlos Moreno-Camacho, Jairo R. Montoya-Torres, Mario C. Vélez-Gallego</i>
11:40 am - 12:00 am	#117	Revisión de la literatura sobre el problema de programación de flow shop híbrido con máquinas paralelas no relacionadas <i>Luis Eduardo Pérez Figueredo, Eslendis Moratto Chimenty, Edwin Alberto Garavito Hernández, Eliana Marcela Peña Tibaduiza</i>
12:00 am - 12:20 am	#45	Modelos para la programación de sistemas Job Shop Flexibles en entornos Make to Order <i>Sebastian Ortiz Gaitan, Carlos R. Ruiz Cruz, Angélica Sarmiento Lapesqueur</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Transporte de pasajeros**

Horario: 11:00 a.m. a 12:20 p.m.

Lugar: Salón G-103

**Chair: Rodrigo Linfati**

11:00 am - 11:20 am	#25	Una estrategia para la disminución del apilamiento de buses a partir de la tabla de operación en un sistema BRT con corredor compartido <i>Alejandro Ramirez, Alvaro Orozco, Jose Soto</i>
11:20 am - 11:40 am	#26	Asignación de frecuencias óptimas, a través de un modelo multiobjetivo, para un sistema BRT, en Pereira, Colombia <i>Diego Galindres, Jose Soto, Sandra Estrada</i>
11:40 am - 12:00 am	#68	Simulación de eventos discretos en sistemas BRT - Caso Transmilenio <i>Miguel Roberto Campos Murcia, Juan Pablo Álvarez Arias</i>
12:00 am - 12:20 am	#15	Modelos de Localización de Cámaras de Vigilancia en una Red de Transporte Masivo <i>Nathaly Solano Pinzón, David Pinzón Marroquin, William J. Guerrero</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Teoría de Juegos y Revenue Management**

Horario: 11:00 a.m. a 12:20 p.m.

Lugar: Salón G-104

**Chair: Raha Akhavan**

11:00 am - 11:20 am	#99	Un modelo para el pronóstico de demanda de productos alimenticios en un restaurante institucional con redes neuronales <i>Julio César Londoño Ortega, Danny Steven Martínez Paredes, Armando Alirio Aguirre Valencia</i>
11:20 am - 11:40 am	#70	Modelo de Juegos cooperativos para la toma de decisiones en el aprovisionamiento de una cadena tipo retail bajo el esquema VMI <i>Diana Ramírez Ríos, Daniela Landinez, Laura P. Manotas Romero, Luis Eduardo Ramírez Polo</i>
11:40 am - 12:00 am	#89	A Stochastic Dynamic Model to Optimize the Promotions Period in Airlines <i>Mariana Escallón, Cristina López, Raha Akhavan, Daniel Felipe Otero</i>
12:00 am - 12:20 am	#90	Revenue Management Applied to the Hotel Industry <i>Juan Daniel Daza, Juan Felipe Imbett, Andrés Felipe Montoya, Juan José Pineda, Javier Valenzuela, Raha Akhavan, Daniel Felipe Otero</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Planeación de producción y operaciones**

Horario: 11:00 a.m. a 12:20 p.m.

Lugar: Salón G-105

**Chair: Santiago Aguirre**

11:00 am - 11:20 am	#124	Modelación de la planeación de la oferta en el proceso de S&OP <i>Juan Sebastian Montoya, Carlos Alberto Castro</i>
11:20 am - 11:40 am	#135	Modelo multiproducto para la planificación de despachos de mercancías considerando un indicador de prioridad <i>Nelson Francisco Gordillo Rico, Mayra Alejandra Tobar Tobar, Andrés Felipe Salazar Ramos</i>
11:40 am - 12:00 am	#138	Modelo programación lineal entera mixta para la planeación de la producción de fertilizantes NPK y Nitrato de calcio <i>Olmedo Ochoa, Humberto Quintero, Jairo R. Coronado-Hernandez</i>
12:00 am - 12:20 am	#141	Minería de Procesos: aplicaciones, retos y avances <i>Hugo Santiago Aguirre Mayorga</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Sostenibilidad en cadenas logísticas**

Horario: 11:00 a.m. a 12:20 p.m.

Lugar: Salón G-106

**Chair: Juan Esteban Muriel**

11:00 am - 11:20 am	#30	Improving environmental performance of operating supply chains - The cement industry case <i>Nora Cadavid, Mario César Velez</i>
11:20 am - 11:40 am	#88	Green CFLP: Localización de instalaciones cementeras con restricciones sobre los impactos ambientales <i>Gabriel Esteban Hincapié Osorno, Mario C. Velez-Gallego</i>
11:40 am - 12:00 am	#17	Evaluating supply chain resilience under road network disruptions <i>Juan Esteban Muriel Villegas, Juan Villegas, Carmen Patino-Rodríguez</i>
12:00 am - 12:20 am	#46	Modelo para la coordinación de la cadena de suministro agrícola contemplando efectos ambientales: el caso de la industria piscícola <i>Nicolas Clavijo Buritica, Delio Alexander Balcazar Camacho</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Problemas de ruteo-inventario**

Horario: 11:00 a.m. a 12:20 p.m.

Lugar: Salón G-108

**Chair: Andrés Muñoz Villamizar**

11:00 am - 11:20 am	#53	Optimización del abastecimiento de combustible a una red de estaciones de servicio <i>Juan Esteban Calle Salazar, Daniel Camilo Rojas Arcila, David Felipe Higueta Alzate, Luis Fernando Moreno Velásquez</i>
11:20 am - 11:40 am	#132	Integrando la cadena de suministros de dos eslabones a través del problema de ruteo de inventarios <i>Elsa Barragán Pineda, Leidy Johana Romero Cuervo, Javier Arias-Osorio, Henry Lamos Díaz</i>
11:40 am - 12:00 am	#28	Métodos exactos y heurísticos para el problema de camino más corto generalizado <i>William J. Guerrero, Nubia Velasco, Caroline Prodhon</i>
12:00 am - 12:20 am	#20	Ruteo de inventarios con ventanas de tiempo fuertes <i>Eliseo Pérez, William J. Guerrero</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Programación matemática II**

Horario: 1:30 p.m. a 2:30 p.m.

Lugar: Salón G-101

**Chair: Eliana González-Neira**

1:30 pm - 1:50 pm	#9	Modelo de solución óptima al problema de transporte de múltiples productos a través de una red de distribución: Caso de prueba piloto para empresas del sector industrial de plásticos en Bogotá <i>Luis Carlos Sanchez Acevedo, Andres Giovanni Guarin Salinas</i>
1:50 pm - 2:10 pm	#93	Localización de puntos de acopio y reproceso de una red logística inversa considerando la mejora de medidas de desempeño operativas <i>Eliana Martinez, Germán Maya, Andrés Salazar</i>
2:10 pm - 2:30 pm	-	

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Diseño y gestión de sistemas de producción I**

Horario: 1:30 p.m. a 2:30 p.m.

Lugar: Salón G-102

**Chair: Javier Arias**

1:30 pm - 1:50 pm	#58	Algoritmo basado en relajación Lagrangeana para resolver el problema de lotificación en sistemas multinivel en entornos de coproducción y listas de materiales alternativas <i>Alvaro Roca Molina, Jairo R. Coronado-Hernandez</i>
1:50 pm - 2:10 pm	#39	Metaheurística Honey-Bees Matting Optimization (HMBO) Aplicada a la Solución del Problema de Distribución de Planta (FLP) con Departamentos de Áreas Iguales y Desiguales <i>Carlos Díaz Bohórquez, Ginna Cote Ramirez, Diana Mendoza Moreno</i>
2:10 pm - 2:30 pm	#37	Regularización de departamentos de áreas desiguales a partir de soluciones planteadas al problema de distribución de planta <i>Carlos Díaz Bohórquez, Javier Arias Osorio, Jorge Arias G., Fabian Camargo C.</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Problemas de enrutamiento I**

Horario: 1:30 p.m. a 2:30 p.m.

Lugar: Salón G-103

**Chair: John Wilmer Escobar**

---

1:30 pm - 1:50 pm	#122	Evaluating Route Reliability for the Stochastic Vehicle Routing Problem <i>Andres Sarmiento, Carlos Felipe Ruiz Salazar, Raha Akhavan Tabatabaei, Andres Medaglia Gonzalez, Jorge Mendoza</i>
1:50 pm - 2:10 pm	#131	A hybrid metaheuristic approach for the Capacitated Vehicle Routing Problem with Container Loading Constraints <i>David Alvarez Martinez, Luis Miguel Escobar Falcón, John Willmer Escobar, Mauricio Granada, Rodrigo Linfati</i>
2:10 pm - 2:30 pm	#49	A Hybrid Scatter search Metaheuristic for the Capacitated Arc Routing Problem with Refill Points <i>Carlos Franco, Eduyn Lopez</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Diseño y gestión de cadenas logísticas I**

Horario: 1:30 p.m. a 2:30 p.m.

Lugar: Salón G-104

**Chair: Henry Lamos**

---

1:30 pm - 1:50 pm	#106	Medición del riesgo en la planificación de despachos utilizando optimización estocástica <i>Yeny Carolina Giraldo Rivera, Andrés Felipe Salazar Ramos</i>
1:50 pm - 2:10 pm	#61	Modelo matemático multi-objetivo para la gestión de la cadena de suministro de biodiesel de palma en Colombia <i>Johan Aranda, Javier Orjuela</i>
2:10 pm - 2:30 pm	#67	Solución del problema de diseño de red continuo (CNDP) mediante la metaheurística Evolución Diferencial (GMED) <i>Yulayth Vega, Diana Sanabria, Henry Lamos, Javier Arias</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Agroindustria I**

Horario: 1:30 p.m. a 2:30 p.m.

Lugar: Salón G-105

**Chair: Carmen Patiño**

---

1:30 pm - 1:50 pm	#97	Aplicación de la simulación de eventos discretos en el diagnóstico del sistema de gestión de mantenimiento en un ingenio azucarero <i>Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Juan Jose Rojas Reyes, Kelly Estefany Bueno Jaramillo</i>
1:50 pm - 2:10 pm	#119	Método heurísticos para la formación de clústers en productos hortofrutícolas <i>Paulo Machado, Hugo González, Pedro Medina</i>
2:10 pm - 2:30 pm	#60	Comparación de procesos de mezclado de caucho natural mediante el análisis de varianza de las propiedades reométricas: un aporte a la industria Colombiana <i>Mateo Gómez, Daniel Corrales, Diego Rondón, Diego Giraldo, Carmen Patiño</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión:** Simulación I  
**Horario:** 1:30 p.m. a 2:30 p.m.  
**Lugar:** Salón G-106

**Chair:** Mario César Vélez

1:30 pm - 1:50 pm	#98	Simulación de eventos discretos aplicada en el cálculo de la capacidad y propuesta de mejora de un sistema de prestación de servicios de salud <i>Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Jorgue Andres Dominguez Clavijo, Diana Carolina Ruíz Méndez</i>
1:50 pm - 2:10 pm	#139	Herramienta de valoración basada en simulación para modelos y algoritmos de planificación de operaciones en la cadena de suministro <i>Jairo R. Coronado-Hernandez, Jose P. García-Sabater</i>
2:10 pm - 2:30 pm	#128	Simulación Monte-Carlo aplicada a la planificación de la producción integrada: del Programa Maestro de Producción (MPS) a la Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP) <i>Sandra Marcela Mera Franco, Jose Alejandro Velandia Solarte, Andres Felipe Salazar Ramos</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión:** Modelos estocásticos y probabilísticos I  
**Horario:** 1:30 p.m. a 2:30 p.m.  
**Lugar:** Salón G-108

**Chair:** Rodrigo Barbosa Correa

1:30 pm - 1:50 pm	#100	Extending the Pulse Framework to the Stochastic Constrained Shortest Path Problem: A Convolution Approach <i>Julian David Botero, Daniel Duque, Andrés Leonardo Medaglia González</i>
1:50 pm - 2:10 pm	#111	Modelo de inventario multiproducto, con pronósticos de demanda y optimización Bayesiana <i>Marisol Valencia Cárdenas, Francisco Javier Díaz Serna, Juan Carlos Correa Morales</i>
2:10 pm - 2:30 pm	#48	Análisis Markovianos y Modelos Bayesianos para optimizar Procesos de Producción mediante Simulación <i>Rodrigo Barbosa Correa, Luis Echeverri</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión:** Logística urbana  
**Horario:** 2:30 a.m. a 3:30 a.m.  
**Lugar:** Salón G-101

**Chair:** Angélica Sarmiento L.

2:30 pm - 2:50 pm	#101	Análisis de movilidad vehicular en una zona de confluencia de Barranquilla utilizando la simulación <i>Alejandra Berdugo Alonso, Ronald Andres Corcho Martinez, Daniel Alfonso Mendoza Casseres</i>
2:50 pm - 3:10 pm	#83	Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de Zarzal Valle del Cauca <i>Bryan Henao Guzmán, Jhonier Piedrahita Arana, Carlos Alberto Rojas Trejos</i>
3:10 pm - 3:30 pm	#79	A discrete-event simulation model to estimate the number of participants in the Ciclovía programs <i>Maria Juliana Rivera Aldana, Amelia Andrea Torres Moreno, Laura Rocío Vargas Murcia, Raha Akhavan-Tabatabaei, Olga Lucía Sarmiento, Carlos Felipe Valencia Arboleda</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Diseño y gestión de sistemas de producción II**

Horario: 2:30 p.m. a 3:30 p.m.

Lugar: Salón G-102

**Chair: Carlos Díaz**

---

2:30 pm - 2:50 pm	#74	Mathematical model for the problem of product mixing and lot-sizing decisions under stochastic demand <i>Dionicio Neira, John Willmer Escobar, Rafael Guillermo Garcia</i>
2:50 pm - 3:10 pm	#84	Controlled Framework of Machining Parameters for Engineering Surface Microstructure <i>Sepideh Abolghasem, Raha Akhavan-Tabatabaei, Roberto Zarama, Meenakshisundaram Ravi Shankar</i>
3:10 pm - 3:30 pm	#38	Alternativa de solución al problema de Distribución de Planta (FLP) de un solo nivel con estructuras internas, muros y pasajes, a partir de métodos metaheurísticos. <i>Carlos Díaz Bohórquez, Erika Rueda Jaimes, Giovanni Villamil, Henry Lamos Díaz</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Problemas de enrutamiento II**

Horario: 2:30 p.m. a 3:30 p.m.

Lugar: Salón G-103

**Chair: Eliana Toro**

---

2:30 pm - 2:50 pm	#114	Metaheurísticos híbridos para el problema de ruteo de vehículos con flota propia y subcontratación <i>Andrés Felipe Cañas Uribe, Juan G. Villegas R., Jorge Mendoza</i>
2:50 pm - 3:10 pm	#1	Taxonomía para la toma de decisiones en la función logística de transporte FLT de la cadena de abastecimiento <i>Johanna Trujillo Díaz, Holman Bolivar</i>
3:10 pm - 3:30 pm	#21	Solución del problema de ruteo de vehículos dependientes del tiempo, usando un algoritmo genético híbrido con gerenciamiento de población <i>Fredy Alexander Guasmayan Guasmayan, Eliana Toro</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión: Diseño y gestión de cadenas logísticas II**

Horario: 2:30 p.m. a 3:30 p.m.

Lugar: Salón G-104

**Chair: Jairo R. Coronado-Hernandez**

---

2:30 pm - 2:50 pm	#126	Simulación discreta de una línea de ensamble tipo Bucket Brigades implementada en un laboratorio lúdico de Ingeniería Industrial <i>Kelly Andrea Peláez Mejía, Jorge Luis Payán Quevedo, Andrés Felipe Salazar Ramos</i>
2:50 pm - 3:10 pm	#5	Modelo de optimización para el diseño de una red de distribución considerando agotados: Caso estudio en Colombia <i>Harol Mauricio Gamez Alban, Christopher Mejia, Ricardo Leon</i>
3:10 pm - 3:30 pm	#140	Heurística para la planificación de materiales y operaciones en cadenas de suministro con estructuras alternativas de productos <i>Jairo R. Coronado-Hernandez, Daniela Simancas, Jose P. García-Sabater</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión:** Agroindustria II  
**Horario:** 2:30 p.m. a 3:30 p.m.  
**Lugar:** Salón G-105

**Chair:** Lorena Reyes

2:30 pm - 2:50 pm	#12	Caracterización de la cadena productiva del café y modelos de programación matemática para el proceso de tostado del café <i>Diana Yomali Ospina Lopez, Maria Antonia Carravilla, José Fernando Oliveira</i>
2:50 pm - 3:10 pm	#55	Análisis de la capacidad del proceso de beneficio de porcinos en Envicárnicos E.I.C.E a través de la simulación de eventos discretos <i>Jonathan Antonio Hoyos Chaverra, Natalia Quintero Avellaneda, Brigitte Roldán Ramírez and Natalia Suárez Terán</i>
3:10 pm - 3:30 pm	#41	Un modelo matemático para el soporte a la planificación integrada entre cosecha forestal y aserraderos <i>Sebastián Fuentealba Rivas, John Wilmer Escobar, Gustavo Gatica, Rodrigo Linfati</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión:** Simulación II  
**Horario:** 2:30 p.m. a 3:30 p.m.  
**Lugar:** Salón G-106

**Chair:** A. Felipe Torres

2:30 pm - 2:50 pm	#95	Análisis de la productividad utilizando la simulación de eventos discretos y el diseño de experimentos, en una empresa del sector alimenticio <i>Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Carolina Ossa Escobar, Cindy Lorena Rivera Agudelos</i>
2:50 pm - 3:10 pm	#31	Simulación de procesos de control de inventarios <i>Julio Ernesto Camargo Bejarano</i>
3:10 pm - 3:30 pm	#136	Simulación para reducir el tiempo promedio de servicio en acopio de mercancías utilizando algoritmos genéticos <i>Jairo Junior Rangel Redondo, Zulay Sarmiento Arevalo, Daniel Alfonso Mendoza Cáceres</i>

**Miércoles Julio 15, 2015**

**Sesión:** Sistemas de salud I  
**Horario:** 2:30 p.m. a 3:30 p.m.  
**Lugar:** Salón G-108

**Chair:** Daniel R. Suárez

2:30 pm - 2:50 pm	#87	Mejora en ocupación, oportunidad, y variabilidad en la programación de un servicio de cirugía <i>Ana M Estupiñan, M. Juliana Torres, Nicolás Pérez, Eliana M. González-Neira, David Barrera, Jorge Barbosa, Martha P. Caro, Carlos Sefair, Daniel R. Suarez</i>
2:50 pm - 3:10 pm	#44	Una herramienta para la planeación y programación de cirugías en ambientes con limitada disponibilidad de especialistas <i>Carolina Saavedra, Fabián Castaño, Nubia Velasco</i>
3:10 pm - 3:30 pm	#29	Diseño de políticas para la reducción de la estancia hospitalaria en pacientes de la IPS Universitaria, Sede Clínica León XIII <i>Tatiana Ceballos Acevedo, Paula Velásquez Restrepo, Juan Sebastián Jaén Posada</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:** Data mining, Data text  
**Horario:** 9:00 a.m. a 10:00 a.m.  
**Lugar:** Salón G-101

**Chair:** Jorge Alvarado

9:00 am - 9:20 am	#23	Recomendación de asignaturas electivas a estudiantes universitarios a través de reglas de asociación probabilística <i>Ricardo Otero, Juan Carlos Palacios</i>
9:20 am - 9:40 am	#33	Aproximación a un modelo de medición del desempeño estudiantil mediante la aplicación de minería de datos educativa en ambientes virtuales de aprendizaje: un estudio de caso en la educación superior. <i>Delio Alexander Balcázar Camacho, Rubén Francisco Manrique Piramanrique, José Joaquín Parrado</i>
9:40 am - 10:00 am	#7	Análisis de sentimiento con minería de texto en Twitter para el proceso de paz colombiano <i>Oscar Guio, Jorge Andrés Alvarado</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:** Simulación III  
**Horario:** 9:00 a.m. a 10:00 a.m.  
**Lugar:** Salón G-102

**Chair:** Yony Ceballos

9:00 am - 9:20 am	#118	Análisis de sensibilidad del modelo Newsvendor Problem mediante simulación y desarrollo de escenarios <i>Paulo Machado, Hugo Gonzalez, Carlos Rojas</i>
9:20 am - 9:40 am	#14	Uso de simulación discreta para minimizar tiempos de respuesta en entrega de exámenes en una clínica de escanografía neurológica de Medellín <i>Yony Fernando Ceballos, Cristian Camilo Duque Zapata, Angie Catherine Patron Ricardo, Karen Rocio Martínez Lancheros, Rafael Ricardo Mendoza Herrera</i>
9:40 am - 10:00 am	#129	Simulación para reducir pérdida de pacientes en el área de urgencias de una Institución Prestadora de Servicios <i>Daniel Alfonso Mendoza Casseres, Ronald Andrés Corcho Martínez, Alejandra Berdugo Alonso</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:** Optimización multicriterio / multiobjetivo  
**Horario:** 9:00 a.m. a 10:00 a.m.  
**Lugar:** Salón G-103

**Chair:** Ciro-Alberto Amaya

9:00 am - 9:20 am	#11	Algoritmo Híbrido con Inteligencia Artificial, para el problema de Ruteo de Vehículos Sobre Arcos con Nodos de Inicio/Fin Variables en su Versión Bi-Objetivo (MO-OCARP) <i>Ciro-Alberto Amaya, Bernardo Macias</i>
9:20 am - 9:40 am	#85	Modelo de programación multiobjetivo para el diseño de una red integrada de prestación de servicios hospitalarios: Caso Valle del Cauca <i>Jorge Luis Giraldo Gomez, Diego Andres Londoño, John Willmer Escobar, Nicolás Clavijo Buritica</i>
9:40 am - 10:00 am	#80	Optimización de portafolios considerando el retorno objetivo como una variable difusa entrópica <i>Héctor López-Ospina and Oscar López</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Problemas de producción-distribución**

Horario: 9:00 a.m. a 10:00 a.m.

Lugar: Salón G-104

**Chair: Juan José Bravo**

- |                    |      |  |
|--------------------|------|--|
| 9:00 am - 9:20 am  | #130 | Consideraciones de riesgo en optimización estocástica: Caso aplicado a un modelo integrado producción-distribución<br><i>Yujak Stiwar Vélez, Hernán Penagos, Andrés Felipe Salazar Ramos</i>   |
| 9:20 am - 9:40 am  | #133 | Integración de la cadena de suministro de dos eslabones a través del problema de secuenciación de la producción y distribución<br><i>Karen Silvana Carrillo Carreño, Yeidy Cardozo, Javier Arias-Osorio, Carlos Eduardo Díaz Bohórquez</i> |
| 9:40 am - 10:00 am | #134 | Análisis de cuellos de botella en modelos de programación matemática de sistemas de producción-distribución<br><i>Andrés Felipe Salazar Ramos, Juan José Bravo Bástidas</i>  |

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Sistemas de salud II**

Horario: 9:00 a.m. a 10:00 a.m.

Lugar: Salón G-105

**Chair: Gloria Osorno**

- |                    |     |  |
|--------------------|-----|--|
| 9:00 am - 9:20 am  | #92 | Desarrollo de una herramienta de apoyo a la decisión para el diagnóstico de cáncer cervical<br><i>Vivian Carranza, Maria Alejandra Wilches, Raha Akhavan</i>                               |
| 9:20 am - 9:40 am  | #69 | Meta-heurística para el problema de asignación de turnos de enfermería<br><i>Nicolás Giedelman Lasprilla, Angélica Sarmiento Lepesqueur, Carlos Rodrigo Ruiz Cruz, William J. Guerrero</i> |
| 9:40 am - 10:00 am | #56 | Modelo de gestión de inventarios de medicamentos para un sistema de atención pre-hospitalaria.<br><i>Viviana Carvajal, Pablo Maya, Gloria Osorno</i>                                       |

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Modelos estocásticos y probabilísticos II**

Horario: 9:00 a.m. a 10:00 a.m.

Lugar: Salón G-106

**Chair: Lorena Reyes**

- |                    |      |  |
|--------------------|------|--|
| 9:00 am - 9:20 am  | #115 | Extending the Pulse Framework to Robust Shortest Path Problems with Side Constraints<br><i>Daniel Duque, Andrés Leonardo Medaglia González</i>   |
| 9:20 am - 9:40 am  | #76  | Uso de Pyomo para resolver un problema de programación estocástica<br><i>Ariel Uribe, Wilson Briceno</i>   |
| 9:40 am - 10:00 am | #107 | Synthetic Generation of Weather Time Series for the Simulation of Forest Fires in Bogotá, Colombia<br><i>Carlos Alberto Sarmiento, Raha Akhavan Tabatabaei, Carlos Felipe Valencia</i> |

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Dinámica de Sistemas**

Horario: 9:00 a.m. a 10:00 a.m.

Lugar: Salón G-108

**Chair: Sebastián Jaen**

---

9:00 am - 9:20 am	#59	Caso de aplicación de herramientas de investigación de operaciones en la calidad de la educación superior <i>Juan Niño, Sebastian Meza, Carolina Castro, Joan Gordillo</i>
9:20 am - 9:40 am	#43	Impacto del flujo del paciente en la estancia hospitalaria: Un estudio bajo dinámica de sistemas <i>Sebastian Jaen, Paula Andrea Velásquez Restrepo</i>
9:40 am - 10:00 am	#63	Dos soluciones al problema de la saturación de urgencias en Medellín <i>Juan Sebastian Jaen Posada, Paula Andrea Velásquez Restrepo</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Aplicaciones en servicios públicos**

Horario: 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

Lugar: Salón G-101

**Chair: Valentina Gutiérrez**

---

10:00 am - 10:20 am	#19	Optimización multiobjetivo de la estructura de reaseguro aplicada a la línea Incendio de Seguros Generales Suramericana S.A. <i>Sebastián Roman, Andrés M. Villegas R., Juan G. Villegas R.</i>
10:20 am - 10:40 am	#51	Un problema de localización con máxima cobertura para la localización de Ciclo Parqueaderos Públicos en la Ciudad de Medellín <i>María Salomé Taboada, Pablo Andrés Maya</i>
10:40 am - 11:00 am	#16	Diseño y evaluación de un modelo de asignación para la presentación de exámenes administrados por entidades públicas en Colombia <i>Pablo Andrés Betancur, E. Valentina Gutiérrez</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Simulación IV**

Horario: 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

Lugar: Salón G-102

**Chair: Carlos Felipe Valencia**

---

10:00 am - 10:20 am	#72	Simulación del impacto de la eficiencia individual en equipos de trabajo en las corporaciones <i>Juan Villada Oquendo, Alejandro Roza Villegas</i>
10:20 am - 10:40 am	#78	Wildfire risk measurement tools design in Bogotá <i>Gilberto Andres Jose Morales Zamora, Santiago Abisambra Castillo, Raha Akhavan-Tabatabaei, Carlos Felipe Valencia Arboleda</i>
10:40 am - 11:00 am	#8	Evaluación mediante simulación de los efectos generados por la impuntualidad en la fidelidad de los clientes en una cadena de abastecimiento <i>Jorge Andrés Alvarado, Daniel Silva</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Diseño y gestión de cadenas logísticas III**

Horario: 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

Lugar: Salón G-103

**Chairs: Juan Villada**

10:00 am - 10:20 am	#47	Modelo de aprovisionamiento colaborativo para el sector turismo. Caso de estudio: Ruta Mutis en el Tolima <i>Juan Sebastian Pelaez Zuñiga, Helga Patricia Bermeo Andrade</i>
10:20 am - 10:40 am	#71	Optimización de la distribución en línea de venta directa y retail de LEONISA S.A <i>Juan Villada, Diego Perez Mejía</i>
10:40 am - 11:00 am	#94	Aplicación de la simulación de eventos discretos en la prestación de servicios de una entidad bancaria <i>Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Paula Andrea Nuñez Rivera, Diana Carolina Monrroy Gutierrez</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Meta-heurísticos I**

Horario: 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

Lugar: Salón G-104

**Chair: Carlos Franco**

10:00 am - 10:20 am	#27	A probabilistic Granular Tabu Search for the Distance Constrained Capacitated Vehicle Routing Problem (DCVRP) <i>Jose Bernal, John Willmer Escobar, Juan Camilo Paz, Gustavo Gatica, Rodrigo Linfati</i>
10:20 am - 10:40 am	#24	A decomposition approach to combined maintenance and routing optimization problem <i>Carlos Franco, Eduyn Lopez</i>
10:40 am - 11:00 am	#91	Extending the Combined Maintenance and Routing Optimization Approach <i>John Edgar Fontecha García, Raha Akhavan Tabatabaei, Daniel Duque Villareal, Andrés Leonardo Medaglia González, Juan Pablo Rodriguez Sanchez</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión: Sistemas de salud III**

Horario: 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

Lugar: Salón G-105

**Chair: Gloria Osorno**

10:00 am - 10:20 am	#125	Modelo de toma de decisiones para el tratamiento de pacientes colombianas con cáncer de seno <i>Julian David Coy Ulloa, Raha Akhavan-Tabatabaei, Shengfan Zhang</i>
10:20 am - 10:40 am	#32	Modelo de simulación para analizar el problema de relocalización de las ambulancias de un Servicio de Emergencia Médico (SEM) <i>Alma Karina Rodriguez Quintero, Gloria Milena Osorno Osorio, Pablo Andrés Maya Duque</i>
10:40 am - 11:00 am	#81	Un enfoque POMDP a Políticas de Detección Primarias para el Cáncer de Cuello Uterino en Colombia <i>Juan Arboleda, Isabel Namen, Raha Akhavan, Esma Gel</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:** Sector educativo

Horario: 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

Lugar: Salón G-106

**Chair:** César Jaramillo

---

10:00 am - 10:20 am	#102	Análisis de las reprobaciones de asignaturas a través de cadenas de Markov discretas. Caso - Ingeniería Civil - Pontificia Universidad Javeriana <i>Ricardo Otero, Juan Carlos Palacios</i>
10:20 am - 10:40 am	#110	El contexto internacional de la Investigación de Operaciones: Asociaciones, publicaciones y recursos disponibles <i>Javier Diaz, Luis Moreno</i>
10:40 am - 11:00 am	#40	Gestión Constructivista de conocimientos sobre Supply Chain <i>Cesar Jaramillo</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:** Problemas de localización-ruteo

Horario: 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

Lugar: Salón G-108

**Chair:** Ramón Gallego

---

10:00 am - 10:20 am	#13	Aplicación de modelos de localización de instalaciones y ruteo de vehículos considerando compatibilidad con tipo de carga en áreas densamente pobladas: Caso Bogotá <i>Harol Mauricio Gamez Alban, Christopher Mejia, David Hidalgo</i>
10:20 am - 10:40 am	#54	Ubicación óptima de puntos de carga para redes de vehículos eléctricos <i>David Escobar Vargas, Laura M. Escobar Vargas, Ramón A. Gallego Rendón</i>
10:40 am - 11:00 am	#120	Solución del CLRP usando técnicas de partición y aplicando un algoritmo genético modificado <i>Eliana Toro, David Álvarez Martínez, Ramón Alfonso Gallego Rendón</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:** Logística Humanitaria

Horario: 11:30 a.m. a 12:30 a.m.

Lugar: Salón G-101

**Chair:** Andrés Medaglia

---

10:00 am - 10:20 am	#34	Un modelo de localización-ruteo con múltiples objetivos para localizar albergues e identificar rutas de evacuación postdesastre en la ciudad de Bucaramanga. <i>Henry Lamos Díaz, Karin Aguilar</i>
10:20 am - 10:40 am	#104	Aplicación de la investigación de operaciones en la logística humanitaria post-desastre - caso inundaciones <i>Lorena S. Reyes-Rubiano, A. Felipe Torres-Ramos</i>
10:40 am - 11:00 am	#109	A location-allocation model under uncertainty applied to disasters <i>Carlos Felipe Ruiz Salazar, Daniel Eduardo Suárez Bayona, Raha Akhavan-Tabatabaei, Andrés L. Medaglia Gonzalez</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:**           **Simulación V**  
**Horario:**        11:30 a.m. a 12:30 a.m.  
**Lugar:**           Salón G-102

**Chair:**           **Yony Ceballos**

- 
- |                     |      |  |
|---------------------|------|--|
| 10:00 am - 10:20 am | #108 | A sampling-simulation approach for the stochastic constrained shortest path problem<br><i>Sergio Cardenas, Daniel Duque, Andres Medaglia</i>   |
| 10:20 am - 10:40 am | #77  | Aplicación de la simulación para evaluar la eficacia de las normas colombianas para el manejo de emergencias en distribuciones de puestos de trabajo: Caso centros de servicio<br><i>Ronald Akerman Ortiz Garcia, Yony Fernando Ceballos</i> |
| 10:40 am - 11:00 am | #3   | Simheurísticas: una herramienta para resolver problemas de optimización combinatoria<br><i>Carlos L Quintero-Araujo, Angel A. Juan, Jairo R. Montoya-Torres, Javier Faulin</i>   |

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:**           **Problemas de empaquetamiento**  
**Horario:**        11:30 a.m. a 12:30 a.m.  
**Lugar:**           Salón G-103

**Chair:**           **Christopher Mejía**

- 
- |                     |     |  |
|---------------------|-----|--|
| 10:00 am - 10:20 am | #42 | Una máquina evolutiva para el Strip Packing Problem<br><i>Gustavo Gatica, Carlos Contreras Bolton, John Willmer Escobar, Rodrigo Linfati, John Camilo Cifuentes Taborda</i>                          |
| 10:20 am - 10:40 am | #64 | Estudio computacional del problema de empaquetamiento óptimo tridimensional con restricciones de carga fraccionada en múltiples destinos<br><i>David Alvarez Martinez</i>                            |
| 10:40 am - 11:00 am | #6  | Un modelo costo eficiente para la optimización de empaques en mercado emergentes: Caso de empresa de consumo masivo en Colombia<br><i>Harol Mauricio Gamez Alban, Christopher Mejia, Camilo Soto</i> |

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:**           **Meta-heurísticos II**  
**Horario:**        11:30 a.m. a 12:30 a.m.  
**Lugar:**           Salón G-104

**Chair:**           **A. Felipe Torres**

- 
- |                     |      |   |
|---------------------|------|---|
| 10:00 am - 10:20 am | #82  | A Simulated Annealing approach for the Location-Routing Problem with heterogeneous fleet (LRPH)<br><i>John Willmer Escobar, Cesar Marin, Jose Bernal, Rodrigo Linfati, Gustavo Gatica</i> |
| 10:20 am - 10:40 am | #121 | Algoritmo ILS usando estrategias de clusterización en la solución del problema CLRP<br><i>Eliana Toro, David Alvarez Martinez, Ramon Gallego, Frederico Gadelha Guimaraes</i>             |
| 10:40 am - 11:00 am | #62  | EPSO para solucionar el problema conjunto de localización de instalaciones y ruteo de vehículos<br><i>Juliana Niño Vargas, Henry Lamos Díaz, Carlos Díaz Bohorquez</i>                    |

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:**           **Sistemas de salud IV**  
**Horario:**        11:30 a.m. a 12:30 a.m.  
**Lugar:**           Salón G-105

**Chair:**           **David Barrera**

---

10:00 am - 10:20 am	#22	Diseño de un modelo de optimización/simulación para la localización de vehículos en sistemas de emergencia <i>Carolina Castañeda P., Juan G. Villegas, Pablo A. Maya</i>
10:20 am - 10:40 am	#86	Impacto de la variabilidad artificial de la programación de casos quirúrgicos en un hospital de Bogotá <i>Laura P. Díaz, Leide Fuquen, David Barrera, Eliana M. González-Neira, Luis G. García-Herreros, Daniel R. Suarez</i>
10:40 am - 11:00 am	#96	Aplicación del lean manufacturing y la simulación de eventos discretos en el análisis de procesos de prestación de servicios de salud <i>Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Lina Maria Varela Benitez, Natalia Andrea Perea Libreros</i>

**Jueves Julio 16, 2015**

**Sesión:**           **Problemas de enrutamiento III**  
**Horario:**        11:30 a.m. a 12:30 a.m.  
**Lugar:**           Salón G-106

**Chair:**           **Rodrigo Linfati**

---

10:00 am - 10:20 am	#35	Metodología de solución híbrida: heurística-metaheurística-enumeración implícita 1-0 para el problema de ruteo de vehículos capacitados (CVRP) <i>David Escobar Vargas, Ramón A. Gallego Rendón, Antonio H. Escobar Zuluaga</i>
10:20 am - 10:40 am	#57	Modelos matemáticos y algoritmos heurísticos para solucionar el k-TRP <i>Juan Carlos Rivera, Francisco González</i>
10:40 am - 11:00 am	#105	A hybrid metaheuristic approach for the Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet and Sequential Loading Constraints (2L-HFVRP) <i>Luis Miguel Escobar Falcón, David Alvarez Martinez, John Willmer Escobar, Mauricio Granada</i>

# Resúmenes de las ponencias

## #1-Taxonomía para la toma de decisiones en la función logística de transporte FLT de la cadena de abastecimiento

*Johanna Trujillo Díaz, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, jtrujillo@ucatolica.edu.co*  
*Holman Bolivar, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, hdbolivar@ucatolica.edu.co*

El transporte tiene una importancia en el desarrollo económico y social de un país, representa el intercambio de un origen a un destino para personas, mercancías y fluidos; por tanto, las decisiones en los sistemas de transporte se deben ver en varios niveles: estratégico, táctico y operativo. En la función de logística transporte las decisiones estratégicas son públicas e involucran la infraestructura, mientras que en las organizaciones tradicionales son tácticas y operativas, a menos que la función económica sea ser transportador y en ese sentido debería pensarse en infraestructura.

Este trabajo identifica y desarrolla los criterios de selección del modo, tipos de transportadores y grado de consolidación que en diferentes puntos de la Cadena de Abastecimiento se deberían tener en cuenta. Una organización tradicional debería usar los criterios de selección para el transportador y el modo; mientras que el transportador debería decidir y asesorar a sus clientes con los modos que generen mejor rentabilidad; en este sentido existen varias herramientas para la toma de decisiones la mayoría en optimización específica; sin embargo, este trabajo se enfoca en la gestión de las decisiones para la Función Logística de Transporte con una técnica multicriterio avanzada llamada PROMETHEE.

El código de la aplicación se desarrolla en Visual PROMETHEE®, para un caso de estudio en una empresa productora de Café Verde que distribuye masivos hacia puntos nacionales e internacionales; el problema radica en tomar la mejor decisión, tomando en cuenta los criterios y alternativas identificados en el estado del arte.

## #2-Programación del personal con tiempos de procesamiento dependientes de la secuencia

*Carlos Moreno-Camacho, Universidad de La Sabana, Chía, carlosmorca@unisabana.edu.co*  
*Jairo R. Montoya-Torres, Universidad de La Sabana, Chía, jairo.montoya@unisabana.edu.co*  
*Mario C. Vélez-Gallego, Universidad EAFIT, Medellín, marvez@eafit.edu.co*

Los tiempos de procesamiento en los problemas clásicos de programación de operaciones suelen establecerse de manera fija durante el horizonte de planeación. Sin embargo en las empresas del sector de manufactura con bajos niveles de automatización y alta participación de la mano de obra, esta condición de tiempos de proceso fijos para la ejecución de los trabajos, puede ser afectada por condiciones propias de la labor y el trabajador. Factores como la repetitividad del trabajo, pérdida de concentración, fatiga, entre otros, afecta negativamente el rendimiento del trabajador durante el horizonte de planeación.

Este efecto de disminución en el rendimiento en la ejecución de un número de trabajos o aumento en el tiempo de procesamiento dependiente del inicio de la ejecución de cada tarea ha sido estudiado en la literatura académica bajo el nombre de "deteriorating effect". El problema ha tenido un mayor desarrollo en los últimos años dado los ambientes dinámicos en los que se desarrollan las organizaciones. Además, resulta útil para afrontar el problema de la programación de personal y minimizar el error al ignorar al trabajador como una fuente de variabilidad.

El presente trabajo estudia el problema de la programación de personal para la ejecución de un conjunto de tareas con tiempos de procesamiento dependientes de la secuencia. Se estudian dos funciones objetivo de forma separada: minimización del makespan y minimización de la tardanza máxima. Entre los supuestos del problema se define que los empleados cuentan con habilidades homogéneas (i.e., tienen la misma capacidad y rendimiento en la ejecución de cualquier tarea asignada), los tiempos de procesamiento se comportan como una

funcional exponencial de la posición en la secuencia, cada trabajador puede realizar un único trabajo a la vez y no se permite la interrupción de los trabajos durante su ejecución. Para el problema en cuestión, se comparan varias formulaciones matemáticas en variables enteras; se evalúa el desempeño de las formulaciones en varios conjuntos de datos con miras a medir la capacidad del modelo. Se realiza un análisis de la relación entre el tamaño del conjunto de datos y el tiempo de solución del modelo.

## #3-Simheurísticas: una herramienta para resolver problemas de optimización combinatoria

*Carlos L. Quintero-Araujo, Universidad de La Sabana, Chía & Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, España, carlosqa@unisabana.edu.co*  
*Angel A. Juan, Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, España, ajuanp@uoc.edu*  
*Jairo R. Montoya-Torres, Universidad de La Sabana, Chía, jairo.montoya@unisabana.edu.co*  
*Javier Faulin, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España, javier.faulin@unavarra.es*

La mayoría de los problemas en Logística y Transporte son problemas de optimización combinatoria (POC), los cuales se caracterizan por su alta complejidad a la hora de ser resueltos. Por tal motivo, se ha incrementado el interés de la comunidad científica en desarrollar métodos aproximados (heurísticas y metaheurísticas) para obtener soluciones de "buena" calidad, en un tiempo relativamente corto, a problemas de la vida real. Sin embargo, la mayoría de estos métodos son procedimientos determinísticos usados para resolver escenarios determinísticos de situaciones reales, los cuales al ser ejecutados múltiples veces en condiciones similares llevan siempre al mismo resultado, siendo este resultado una solución sub-óptima o incluso no-factible para el problema de la vida real.

Las Simheurísticas son métodos de solución de reciente aparición que combinan el uso de la simulación y la optimización para resolver POCs en situaciones reales en las cuales la incertidumbre es un componente que no se puede obviar. La manera de trabajar de las Simheurísticas se basa en la incorporación de mecanismos de aleatorización sesgada en procedimientos heurísticos para encontrar un conjunto de soluciones prometedoras para un POC y, posteriormente, a través de simulación evaluar la robustez de dichas soluciones, generando para cada una de éstas un perfil de su fiabilidad/riesgo con lo cual se puedan tomar las mejores decisiones. Este enfoque ha sido probado con éxito en diversos POC tales como problemas de enrutamiento de vehículos, programación de la producción, sistemas distribuidos, etc. tanto en sus versiones determinísticas como estocásticas.

Se pretende mostrar en el presente trabajo una introducción a los conceptos de base relacionados con la implementación de Simheurísticas y mostrar algunos resultados de la aplicación de este tipo de técnicas en diversas situaciones así como posibles campos de aplicación.

## #5-Modelo de optimización para el diseño de una red de distribución considerando agotados: Caso estudio en Colombia

*Harol Mauricio Gamez Alban, LOGYCA, Bogota, hghamagal@gmail.com*  
*Christopher Mejia, LOGYCA, Bogota, cmejia@logyca.org*  
*Ricardo Leon, LOGYCA, Bogota, rleon@logyca.org*

Para toda organización es importante realizar el envío eficiente de bienes entre las localizaciones de su red logística. El diseño de una red de distribución es una decisión estratégica que toda empresa debe tomar para definir la mejor configuración del despacho de los productos hacia los diferentes canales de distribución y los clientes a ser atendidos de manera oportuna, garantizando un equilibrio adecuado entre costo y beneficio.

En esta investigación se presenta un modelo de programación entera mixta multiperiodo que minimiza los costos logísticos involucrados por todas las actividades involucradas en el proceso de distribución de una red logística, en donde se destacan la apertura y cierre de instalaciones, el almacenamiento de producto, así como el transporte de mercancía a

lo largo del periodo de planificación. El modelo planteado incorpora como novedad la consideración de los costos ligados al agotado del producto, que puede ser visualizado como ventas perdidas.

Para la modelación se considera un conjunto de restricciones de satisfacción de demanda, capacidades de almacenamiento y transporte, balance de inventario, entre otras. Mientras que las variables asociadas se relacionan con la gestión de inventarios a diferentes niveles, requerimientos de vehículos, la apertura y/o cierre de instalaciones, satisfacción de demanda, solicitudes de compra, etc.

El modelo es aplicado para una empresa de insumos veterinarios con operación en Colombia, cuyos productos son importados a través de un par de puertos y movilizados por cuatro centros de distribución a una gran cantidad de clientes localizados en Bogotá. Además del caso de estudio, que es considerado como la línea base de la propuesta, se resuelven tres escenarios agregando localizaciones a lo largo de la red logística, que fueron construidos con el apoyo de los decisores de la empresa bajo estudio. El primer escenario permite el almacenamiento en bodegas, el segundo permite el uso de instalaciones tipo cross docking y el tercero es un híbrido entre los dos anteriores.

En conclusión el modelo resulta de gran utilidad para la toma de decisiones y para el caso de estudio muestra resultados que arrojan ahorros de al menos el 20% en los costos respecto de la situación actual. Por otro lado, se demuestra con la ayuda de los escenarios que las bodegas cross docking brindan mayor flexibilidad al ahorrar costos por manejo de inventarios, transporte primario, así como del costo de ventas perdidas. Para finalizar, el modelo demuestra ser una alternativa asequible para mitigar la presencia de agotados en las redes logísticas.

#### **#6-Un modelo costo eficiente para la optimización de empaques en mercado emergentes: Caso de empresa de consumo masivo en Colombia**

*Harol Mauricio Gamez Alban, Logyca, Bogota, hghamagal@gmail.com*  
*Christopher Mejia, Harol Mauricio Gamez Alban, Logyca, Bogota, cmejia@logyca.org*  
*Camilo Soto, Logyca, Bogota, osoto@logyca.org*

Los empaques sirven de enlace en la cadena de valor al ser el único medio de conexión entre los eslabones. Por esta razón, se requiere una coordinación estrecha entre los participantes para dar una respuesta flexible, oportuna y efectiva a las necesidades de los clientes, mientras se maximiza su satisfacción a un costo óptimo para la empresa que los está atendiendo.

Esta investigación presenta un modelo de optimización que define la combinación de empaques que brinda el costo mínimo para atender varios canales de distribución, garantizando también la mínima proporción de apertura (porcentaje de órdenes total que requieren abrir un empaque para satisfacer de forma exacta la demanda de los clientes o canales de distribución). Dada la complejidad de resolución del modelo, una rutina numérica que permite obtener soluciones iniciales factibles es propuesta, para reducir el tiempo promedio de resolución.

El modelo propuesto es validado mediante un caso de estudio en una empresa colombiana de consumo masivo para minimizar los costos relacionados con sus operaciones logísticas al utilizar distintos tamaños de empaques. Para ello se hace un análisis exhaustivo de los posibles costos logísticos involucrados debido a la manipulación de empaques, segundo se aplica el modelo de optimización propuesta que considera la demanda de cada canal de distribución y define la combinación óptima de empaques minimizando tanto la apertura de cajas como el costo total logístico.

Tras la aplicación del modelo, se lleva a cabo un análisis de sensibilidad para verificar la robustez del modelo ante variaciones de los costos más relevantes dentro de los costos totales. Finalmente, se detallan los principales resultados del modelo de optimización encontrándose ahorros del 16% en los costos totales y del 50% en aperturas de cajas para la organización; mientras que con la aplicación de la rutina numérica se logra dar solución en un tiempo computacional menor a todas las instancias, logrando más del 70% de ahorro en el tiempo de ejecución del modelo.

#### **#7-Análisis de sentimiento con minería de texto en Twitter para el proceso de paz colombiano**

*Oscar Guio, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, oguiu@javeriana.edu.co*  
*Jorge Andrés Alvarado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, jorge.alvarado@javeriana.edu.co*

El procesamiento automático de opiniones en Twitter es de gran interés para organizaciones que pueden verse altamente beneficiadas al conocer de primera mano las necesidades de su público objetivo al analizar, filtrar o detectar las tendencias que se producen en Twitter. En el presente trabajo se expone el desarrollo y los resultados obtenidos en la construcción de una herramienta para capturar mensajes de Twitter, crear un corpus de un dominio específico y calificar los mensajes según su polaridad con un clasificador híbrido mostrando los resultados en una línea de tiempo.

#### **#8-Evaluación mediante simulación de los efectos generados por la impuntualidad en la fidelidad de los clientes en una cadena de abastecimiento**

*Jorge Andrés Alvarado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, jorge.alvarado@javeriana.edu.co*  
*Daniel Silva, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, daniel.silva@javeriana.edu.co*

En este trabajo, se diseñó una simulación de una cadena de suministro make to order que permitiera medir la fidelidad de los clientes de un nuevo producto en un mercado competitivo y repetitivo incluyendo tres factores diferenciadores: impuntualidad de los trabajadores, percepción del tiempo de los clientes y evolución de la lealtad de los clientes a lo largo del tiempo. Para el diseño de la simulación se integraron dos técnicas: simulación de eventos discretos para representar la cadena de suministro y agentes para simular el comportamiento de los clientes

Con ayuda de la simulación desarrollada se ejecutó un diseño experimental con los factores diferenciadores mencionados para una cadena simple de ejemplo compuesta por dos proveedores, dos procesos de producción y dos distribuidores. Los efectos de los factores y sus interacciones fueron evaluados sobre cuatro métricas de desempeño de la cadena relacionadas con la fidelidad de los clientes: clientes que abandonan el sistema, número promedio de ventas por clientes, porcentaje de mercado cubierto y lealtad media al final de la simulación. A partir de los resultados se concluyó que la ventana de tiempo de tolerancia que tienen los clientes y que está asociada a sus condiciones socioculturales no tiene influencia estadística significativa sobre los elementos que constituyen el CLV (Customer Lifetime Value), mientras que los otros tres factores analizados si la tienen.

#### **#9-Modelo de solución óptima al problema de transporte de múltiples productos a través de una red de distribución: Caso de prueba piloto para empresas del sector industrial de plásticos en Bogotá**

*Luis Carlos Sanchez Acevedo, Universidad de América. Bogotá, luis.sanchez@profesores.uamerica.edu.co*  
*Andres Giovanni Guarín Salinas, Universidad de América, Bogotá, andres.guarin@investigadores.uamerica.edu.co*

Un modelo de transporte convencional bajo programación lineal, es un algoritmo reconocido en los procesos logísticos de distribución de productos en casi todas las organizaciones empresariales. Sin embargo, las formas de solución están condicionadas bajo la restricción, que son aplicadas para determinar la distribución óptima de un solo tipo de producto.

La ponencia sugiere la formulación general de un modelo de transporte por programación lineal, donde se integra la solución óptima para varios tipos de productos, mediante una ilustración numérica de orden dinámico, bajo el paquete informático de modelamiento matemático Solver de Excel.

El modelo de transporte planteado, determina las cantidades óptimas de enviar un producto de unos Centros de Distribución a unos Clientes, registrando los parámetros de cantidades de envío por centro  $O_i$ , las cantidades de demanda por cliente  $D_j$  y los costos de envío por unidad de cada centro a cada cliente  $C_{ij}$ .

Igualmente, el modelo incorpora el cálculo de un número índice  $A_{\theta}^t$  de productividad, el cual recoge los cambios estructurales ocurridos en un periodo de tiempo a partir de datos sobre cantidades de productos junto con sus correspondientes costos.

La diferencia significativa, de un modelo para un solo tipo de un producto, con otro de múltiples productos, radica en los parámetros dados a cada producto, el modelo propuesto presenta una formulación y metodología para integrar parámetros de oferta y demanda. El modelo numérico sugerido, es para cuatro (4) productos simultáneos con diferentes características, los cuales generan un esquema de sesenta y cuatro (64) variables y una solución óptima vía Esquema.

El modelo propuesto fue validado y se logró establecer su total aplicabilidad en una prueba piloto, en el sector industrial de plásticos de la ciudad de Bogotá, superando la complejidad de similares propuestas, donde se pueden generar resultados en tiempo real con altos valores agregados y dar soluciones a escenarios múltiples para cada uno de los productos por separado, parametrizando las variables y/o modificando los inputs de costos, oferta y demanda, integrando de esta forma todos los productos en una única solución cuantitativa.

El modelo numérico planteado es de una pequeña dimensión, sin embargo, con la formulación propuesta se puede aplicar a un problema con un gran número de variables, utilizando un software de mayor capacidad como el GAMS, WinQSB, Xpress, Lindo, Lingo, etc.

El Solver, puede generar el reporte de análisis de sensibilidad para el modelo del transporte para múltiples productos, con esta información se puede llegar a disminuir los costos totales con base en el precio sombra, con lo cual se puede potencializar los Centros de Distribución con las cantidades de productos apropiados.

#### **#10-An extractive model to estimate the impact of overemployment and subsidized domestic fuel price on National Oil Companies**

*Sergio Cabrales, Universidad de los Andes, Bogotá, s-cabral@uniandes.edu.co*

*Rafael Bautista, Universidad de los Andes, rbautist@uniandes.edu.co*

*Juan Benavides, Fedesarrollo, benavides.jm@gmail.com*

National Oil Companies (NOCs) control international oil markets. NOCs produce approximately three of every five barrels of oil consumed; hold more than 73% of the crude oil reserves and 65% of the gas reserves. International Oil Companies (IOCs) generally maximize the expected net present value of their profits, whereas for NOCs, profits are not necessarily the only objective. Instead, NOCs' objectives are addressed by non-commercial objectives such as domestic employment and domestic fuel subsidies. We develop an extractive model of NOC operation and finance to estimate the impact of overemployment and domestic fuel subsidies on NOCs' operations and finance. We find that overemployment and domestic fuel subsidies dramatically reduce NOCs' market value, production, and reinvestment, which represent the economic cost (shadow prices) and operational consequences of non-commercial objectives.

#### **#11- Algoritmo híbrido con inteligencia artificial para el problema de ruteo de vehículos sobre arcos con nodos de inicio/fin variables en su versión bi-objetivo (MO-OCARP)**

*Ciro-Alberto Amaya, Universidad de los Andes, Bogotá, ca.amaya@uniandes.edu.co*

*Bernardo Macías, Universidad de los Andes, Bogotá, bj.macias136@uniandes.edu.co*

El Problema de ruteo de vehículos con punto de inicio/fin variable (Open Capacitated Arc Routing Problem), en su versión clásica, busca determinar la mejor estrategia para servir un conjunto de clientes localizados en los arcos de una red usando vehículos. A diferencia del

CARP (Capacitated Arc Routing Problem), el OCARP no tiene las restricciones que aseguran que cada vehículo debe iniciar y terminar su ruta en un vértice dado (también conocido como centro de distribución). El objetivo de este trabajo es proponer una heurística para encontrar la frontera eficiente OCARP para las funciones objetivo minimizar el número de vehículos y minimizar el costo total. Adicionalmente se propone un algoritmo híbrido que enriquece el algoritmo genético con un operador de Inteligencia Artificial.

#### **#12- Caracterización de la cadena productiva del café y modelos de programación matemática para el proceso de tostado del café**

*Diana Yomali Ospina López, Universidad Autónoma de Manizales, dianaospina@autonoma.edu.co*

*Maria Antónia Carravilla, Universidade do Porto, Portugal, mac@fe.up.pt*  
*José Fernando Oliveira, Universidade do Porto, Portugal, 3jfo@fe.up.pt*

El café es una de las bebidas más consumidas en el mundo. Según la Organización Internacional del Café (OIC), principal entidad intergubernamental que se ocupa del café, es considerado como un producto primario para la economía de los países en desarrollo, para los cuales el cultivo y producción de café contribuyen significativamente para el producto interno. El proceso de transformación y cadena de suministro del café comprenden varias etapas, las cuales pueden ser agrupadas en: recolección, comercialización del café verde, industrialización y distribución.

La recolección incluye las operaciones agroindustriales realizadas en los locales destinados al cultivo y tratamiento de los granos, dentro de esta etapa se encuentra la selección de la semilla, acondicionamiento, germinación, trasplante y floración, recolección y tratamiento de los granos. En la etapa de comercialización de café verde, el café aún con el pergamino es comercializado por los cultivadores a las centrales de almacenamiento de café. En industrialización, el café verde es transformado según los requisitos del cliente y del mercado, es posible obtener: café tostado, café molido, café soluble, café liofilizado, extracto de café, etc... Para cada tipo de producto final las operaciones en esta etapa pueden tener algunas diferencias, pero de manera general incluyen: almacenamiento, limpieza, tostado, enfriamiento, mezcla de los diferentes tipos de café para obtener los blends. Seguidamente se tienen los procesos específicos de molienda, solubilización, liofilización, etc... Finalmente en la etapa de distribución se encuentra el transporte y la entrega al cliente final.

En este contexto, se describen con más detalle todas las fases de la elaboración del café desde la plantación hasta el producto final, destacando su carácter perecedero. Los principales aspectos de la cadena de suministro de café fueron considerados y posteriormente fue seleccionado uno de los problemas asociados con una parte de la industrialización del café, más específicamente la etapa de tostado, molido y empaque basado en un estudio de caso de una unidad industrial del norte de Portugal. Este problema fue tratado utilizando métodos analíticos. Se desarrolló un modelo de programación entera mixta para la planeamiento de la producción de café con el fin de responder a las preguntas planteadas por la empresa, tales como las cantidades de encomienda que debían ser producidas en cada período del horizonte de tiempo y también los tipos y cantidades de café que debían ser cargadas en los silos al inicio de cada período.

El sistema de apoyo a la decisión desarrollado, basado en el modelo de programación mixta, permite dar respuesta a las preguntas de carácter operativo presentado por la empresa. Igualmente puede ser utilizado para la toma de decisiones tácticas, como la aceptación de la producción de un nuevo producto o la incorporación de las fechas disponibles de materias primas o incluso en las decisiones a nivel estratégico para apoyar el dimensionamiento de instalaciones.

**#13–Aplicación de modelos de localización de instalaciones y ruteo de vehículos considerando compatibilidad con tipo de carga en áreas densamente pobladas: Caso Bogotá**

*Harol Mauricio Gamez Alban, Logyca, Bogotá, hghamagal@gmail.com  
Christopher Mejia, Logyca, Bogotá, cmejia@logyca.org  
David Hidalgo, Logyca, Bogotá, dhidalgo@logyca.org*

La distribución de mercancías es una actividad importante en las áreas urbanas de las grandes ciudades, debido a que está estrechamente ligada con las entregas de última milla. Dada la complejidad logística de esta actividad y muchas veces la falta de políticas públicas urbanas generadas a partir de información verídica, es posible observar situaciones problemáticas asociadas como la congestión vehicular, ineficiencia en el transporte, contaminación ambiental, ruido vehicular, interrupciones y otros problemas que dificultan una mayor eficiencia en la entrega de mercancías.

La metodología contempla una recolección de información a nivel microscópico (por kilómetro cuadrado) considerando los tipos de tiendas, el flujo vehicular, las entregas, las interrupciones y las características viales de la zona bajo estudio utilizando como base el proyecto desarrollado por el Megacity Logistics Lab del MIT (Blanco et al, 2013). Misma información que es analizada estadística y con ella se presentan tres modelos de optimización para la distribución urbana de mercancías al interior de un kilómetro cuadrado (km<sup>2</sup>) en la ciudad de Bogotá.

El primer modelo está orientado a localizar una micro plataforma logística (también llamadas centros urbanos de consolidación) dentro del km<sup>2</sup> bajo estudio, a donde llegan todos los productos antes de realizar el respectivo proceso de distribución. Este modelo es resuelto con métodos de optimización exacta tradicionales. El segundo modelo tiene como propósito realizar el ruteo de vehículos dentro del km<sup>2</sup>, garantizado así el abastecimiento de mercancías a todos los establecimientos del sector. Este modelo es resuelto por medio de algoritmos de generación de columnas. Por último, se presenta un tercer modelo asociado a la compatibilidad de vehículos con el tipo de carga transportada (que se resuelve con métodos de optimización exacta tradicionales), el cual se encarga de definir con qué tipo de vehículos se debe atender la demanda de cada uno de los establecimientos, asumiendo que no todos los productos pueden ser transportados en un solo vehículo.

Como resultado se obtiene la localización de una micro plataforma logística del tipo cross docking en un sitio estratégico que facilita el flujo de mercancías hacia el 100% de los establecimiento del km<sup>2</sup>. Por otro lado, se obtiene el conjunto de rutas óptimas que permiten las visitas a los establecimientos para el reaprovisionamiento de mercancías (satisfacción de demanda) dadas las ventanas de tiempo que considera cada establecimiento. Finalmente y de acuerdo con las restricciones de capacidad y los productos a transportar en cada tipo de vehículo, se obtienen el conjunto de vehículos que permiten atender la demanda de las distintas tiendas a lo largo del km<sup>2</sup>. En general se estima un ahorro de alrededor del 12% en los costos logísticos totales bajo este esquema propuesta de entregas de última milla.

**#14–Uso de simulación discreta para minimizar tiempos de respuesta en entrega de exámenes en una clínica de escanografía neurológica de Medellín**

*Yony Fernando Ceballos, Universidad de Antioquia, Medellín, yony.cebillos@udea.edu.co  
Cristian Camilo Duque Zapata, Universidad de Antioquia, Medellín, duque.udea@gmail.com  
Angie Catherine Patron Ricardo, Universidad de Antioquia, Medellín, angie.patron@udea.edu.co  
Karen Rocío Martínez Lancheros, Universidad de Antioquia, Medellín, krocio.martinez@udea.edu.co  
Rafael Ricardo Mendoza Herrera, Universidad de Antioquia, Medellín, rafael.mendoza@udea.edu.co*

En el presente documento se implementa un modelo de simulación discreta, que busca representar la realidad de la mayoría de los procesos que maneja la empresa Escanografía Neurológica S.A., más

específicamente, los relacionados con la lectura, transcripción y revisión de 5 tipos de exámenes que son: Rayos X (RX), Densitometría (DENSI), Mamografía (MAMO), Tomografía Axial Computarizada (TAC) y Resonancia Magnética (RM); lo anterior con el ánimo de optimizar los tiempos de espera que los exámenes permanecen en el sistema y, por ende, los tiempos de entregas prometidos a los pacientes. Para tal fin, se utilizaron los datos provistos por la empresa, identificando las distribuciones a las cuales se ajustan mejor cada conjunto de datos, definiendo las variables necesarias y el flujo de información a incluir en el modelo de simulación y probándolo a través del software Simul8. Para comprobar que este modelo computacional funciona correctamente, se realizaron pruebas de verificación como trazado, gráficos de línea y pruebas de consistencia, así mismo, la prueba de validación mediante entrevistas con expertos, lo cual confirmó la coherencia de los resultados computacionales con los reales. Finalmente, se ejecuta un diseño experimental con cuatro escenarios, efectuando cambios en los diferentes procesos que se desean mejorar, obteniendo como resultado que la mejor alternativa es el escenario en donde se aumenta en un 100% el tiempo de servicio de los servidores de lectura y revisión para los procesos de Mamografía, Tomografía y Resonancia Magnética. Adicionalmente, se propone un presupuesto para el desarrollo de dicha propuesta.

**#15–Modelos de localización de cámaras de vigilancia en una red de transporte masivo**

*Nathaly Solano Pinzón, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, nathaly.solano@mail.escuelaing.edu.co  
David Pinzón Marroquin, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, david.pinzon-m@mail.escuelaing.edu.co  
William J. Guerrero, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, william.guerrero@escuelaing.edu.co*

El sistema de transporte masivo en Bogotá moviliza un promedio de 1.926.985 pasajeros diarios (alrededor del 30 % de la demanda de transporte público en Bogotá). Muchos de ellos presentan quejas por robos e inseguridad dentro del sistema. Esto genera que muchos usuarios prefieran el transporte privado, lo que afecta la movilidad. Por lo anterior, se desea implementar un sistema de vigilancia basado en cámaras de seguridad HD, para lograr tener un mayor cubrimiento y control de las personas que se mueven dentro del sistema y reducir la inseguridad. Para optimizar las decisiones de localización de las nuevas cámaras de seguridad, se plantean dos formulaciones matemáticas, cada uno de ellos busca realizar la asignación de las cámaras, teniendo en cuenta su resolución, costo, vida útil, entre otros factores. Los objetivos son maximizar simultáneamente: 1. El número de usuarios dentro del sistema que son vigilados y, 2. el valor esperado de crímenes detectados por las cámaras dentro del sistema, basado en el índice de criminalidad histórico por estación. Este índice de criminalidad se puede calcular como el número de robos en cada una de las estaciones respecto a la cantidad de personas que ingresan a la estación se considera conocido. Esta información se basa en la recopilación de quejas y reportes de 9 portales, 134 estaciones y 11 troncales en operación.

Los dos modelos matemáticos multi-objetivo tienen los siguientes supuestos: Se considera un horizonte de planeación finito compuesto por periodos discretos de tiempo (periodos anuales) para tomar decisiones en un horizonte de tiempo de al menos cinco años. Se van a considerar tres tipos de cámaras: básica (actualmente usada), cámaras Full HD, y cámaras HD con domo infrarrojo (que permiten visión nocturna). Las decisiones tomadas por el modelo son: si mantener o actualizar las cámaras actuales, y la localización de nuevas cámaras en cada periodo de tiempo. El número de cámaras a instalar, su localización, y tipo van a estar limitados por el presupuesto que se asigna anualmente para esta inversión, y por restricciones tradicionales de un problema de localización discreto. Asimismo, el modelo presentado incluye restricciones de cobertura ligados a la disposición de la red de transporte puesto que obliga a construir un sistema de vigilancia capaz de hacer seguimiento a los delincuentes que tienen movimientos potencialmente erráticos dentro del sistema. Ambos modelos se diferencian en la definición de sus variables de

decisión y se presentan experimentos que comparan empíricamente el desempeño de ambos con un conjunto de instancias aleatorias.

El objetivo del proyecto es reducir la inseguridad dentro de la red de transporte y lograr que los usuarios sientan mayor seguridad dentro del sistema. Adicionalmente, estas nuevas cámaras facilitan el apoyo de la Policía, para que se logren tomar medidas de reacción oportuna, no sólo en robos, sino en los diferentes problemas que se presentan diariamente dentro del sistema. El impacto esperado del proyecto es el aumento de la percepción de seguridad de los usuarios, con el fin de motivarlos a transportarse en el sistema y mejorar la movilidad.

#### **#16–Diseño y evaluación de un modelo de asignación para la presentación de exámenes administrados por entidades públicas en Colombia**

*Pablo Andrés Betancur, Universidad de Antioquia, Medellín,  
pandres.betancur@udea.edu.co*

*E. Valentina Gutiérrez, Universidad de Antioquia, Medellín,  
elena.gutierrez@udea.edu.co*

La presentación de exámenes en los ámbitos nacional y departamental constituye una exigencia de instituciones públicas y privadas del país, para la cual debe garantizarse la asignación de quienes presentan el examen a una locación o sitio que cumpla con un conjunto de condiciones mínimas. Estos exámenes son aplicados a cientos de miles de personas en Colombia, en casos como las pruebas aplicadas por el Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior (ICFES), y en los exámenes de méritos para ocupar cargos en ramas como la judicial y el magisterio, entre otras.

Recientemente se han presentado en Colombia varios casos en los que se evidencia el impacto del diseño y programación de la aplicación de exámenes de méritos para aspirar a cargos públicos en la rama judicial y de subintendentes de la Policía Nacional. Las denuncias de aspirantes y jefes de dichas ramas públicas van desde el reporte de posibles fraudes, hasta quejas por las fallas en los procesos de asignación y habilitación de los sitios para la presentación de los exámenes, incluyendo además errores en los reportes de los resultados. Estos casos, evidencian la importancia de diseñar un mejor esquema de planeación en los diferentes aspectos logísticos, tales como la preparación, distribución y evaluación de exámenes, así como la preparación, disposición y administración de los sitios de aplicación.

En este trabajo se aborda el problema de asignación de un conjunto de aspirantes a un conjunto de sitios de presentación de exámenes, de modo que se garantice que cada aspirante sea asignado a un sitio que cumpla unas condiciones mínimas de acuerdo al tipo examen. Este problema está relacionado con los problemas de asignación de cupos escolares y los problemas de asignación de salones para la realización de clases y otras actividades académicas. Sin embargo, el problema bajo estudio difiere en dos aspectos fundamentales: el horizonte de planeación y la frecuencia de la decisión. Los problemas de decisión relacionados tienen horizontes típicos de un año a seis meses, y su impacto se evidencia en actividades que se realizan al menos una vez por semana durante dicho periodo. El problema de asignación de sitios para exámenes tiene un horizonte más corto y las decisiones de asignación se toman para actividades que se realizan una sola vez durante dicho horizonte.

Para el problema se utiliza la estructura común de formulación del problema generalizado de asignación (GAP por sus siglas en inglés Generalized Assignment Problem), y se incluyen las variaciones que permiten modelar las condiciones particulares del problema en el contexto dado. El modelo propuesto se evalúa con un conjunto de instancias de prueba generadas con base en los lineamientos definidos por las instituciones que administran este tipo de exámenes. El modelo se resuelve mediante el uso de software comercial, y los resultados parciales muestran que sí es posible mejorar el proceso de asignación en términos de los beneficios seleccionados por los aspirantes y de los criterios requeridos por las instituciones administradoras de los exámenes.

#### **#17–Evaluating supply chain resilience under road network disruptions**

*Juan Esteban Muriel Villegas, Instituto Tecnológico Metropolitano,  
Medellín, jemuriel1@gmail.com*

*Juan Villegas, Universidad de Antioquia, Medellín,*

*juan.villegas@udea.edu.co*

*Carmen Patino-Rodríguez, Universidad de Antioquia, Medellín,  
cpatino@udea.edu.co*

In emerging economies the exponential rise of disruptions and failures from natural and man-made origin have been a serious concern for practitioners and academics. Its devastating effects over the performance of key supply chain operations have caused short and long-term economic and social consequences. In order to face this problem, supply chains in emerging markets must be robust and resilient. Using as a reference a single country, multi-echelon, multi-product supply chain; this paper proposes a methodology combining simulation and optimization to evaluate the consequences of road network disruptions over supply chain operations. We applied this methodology in a case study resembling a realistic supply chain in Colombia and using the rain season as disruptive framework. To evaluate the scenarios, two performance metrics were defined to measure the impact of road disruptions: unserved demand and product delivery overcost. Several configurations are evaluated to derive interesting properties of the model and managerial insights and implications to the supply chain management field. The analysis made proved that by understanding the nature of road failures it is possible to design and manage more robust and resilient supply chains that reduce and absorb the impact of road network disruptions.

#### **#19–Optimización multiobjetivo de la estructura de reaseguro aplicada a la línea incendio de Seguros Generales Suramericana S.A.**

*Sebastián Roman, Vaado Information Technologies S.A.S. & Intituto  
Tecnológico Metropolitano, Medellín, Sebastian.roman@vaadoit.com*

*Andrés M. Villegas R., Cass Business School – City University of London,  
UK, Andres.Villegas.1@cass.city.ac.uk*

*Juan G. Villegas R., Universidad de Antioquia, Medellín,  
juan.villegas@udea.edu.co*

En este trabajo se diseña e implementa un modelo para la búsqueda automática de las estructuras de reaseguro que optimizan los intereses de una aseguradora. El modelo contempla dos objetivos: aumentar el valor esperado del resultado económico de la aseguradora, y disminuir el riesgo (volatilidad) asociado a dicho resultado. Consecuentemente, para determinar las estructuras óptimas de reaseguro se utiliza un problema de optimización multi-objetivo, cuyas funciones objetivo se formulan con base en el modelado probabilístico de la cartera (riesgos asegurados).

Para la solución del problema de optimización multi-objetivo resultante se utilizan dos algoritmos evolutivos multi-objetivo clásicos: Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGAI) y Pareto Archived Evolutionary Strategy (PAES). El espacio de solución sobre el que operan estos algoritmos está conformado por la combinación de parámetros de los cuatro tipos clásicos de reaseguro: Cuota Parte, Excedente, Exceso de Pérdida y Exceso de Siniestralidad. La evaluación de las funciones objetivo en cada individuo (estructura de reaseguro) generado, se realiza utilizando un algoritmo computacional que discretiza las distribuciones de probabilidad acumulada de las diferentes variables aleatorias necesarias para su cálculo.

La comparación de los dos algoritmos muestra que NSGAI permite obtener fronteras eficientes de mejor calidad que las obtenidas con PAES. Finalmente, los experimentos computacionales realizados con la información de la cartera de Incendio de Seguros Generales Suramericana S.A. demuestran que utilizando este tipo de métodos es posible encontrar un conjunto no dominado de esquemas de reaseguro que ofrecen diferentes compromisos entre las dos funciones objetivo y configuraciones diversas de esquemas de reaseguro.

### #20-Ruteo de inventarios con ventanas de tiempo fuertes

*Eliseo Perez, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, eliseo.perez-k@mail.escuelaing.edu.co*  
*William J. Guerrero, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, william.guerrero@escuelaing.edu.co*

Tradicionalmente, las decisiones de ruteo y políticas de inventarios se optimizan de forma secuencial. Recientemente se han estudiado los problemas de ruteo de inventarios (Inventory Routing Problem - IRP). Estos optimizan conjuntamente el transporte y las decisiones de gestión de inventarios con el objetivo de reducir los costos logísticos.

Se considera el problema de ruteo de inventarios con restricciones de ventanas fuertes de tiempo (IRPTW) en una cadena de abastecimiento compuesta por un depósito y múltiples minoristas. Pocos trabajos en la literatura indagan sobre el impacto que tienen la configuración de las ventanas de tiempo sobre las decisiones de inventarios. En el modelo propuesto se asume un horizonte de planeación discreto y finito. Las decisiones involucradas en este modelo son: las cantidades a aprovisionar a los minoristas y la secuencia de minoristas a visitar en cada periodo de tiempo. Se contempla un vehículo de capacidad limitada, restricciones de capacidad de almacenamiento de los minoristas, producción limitada del depósito. Se requiere satisfacer la demanda que tienen los minoristas, prohibiendo faltantes. Se asume que los minoristas tienen demanda determinística y no homogénea. Las ventanas de tiempo pueden ser diferentes para cada periodo de planeación. Finalmente, las distancias son simétricas entre los nodos, la velocidad del vehículo es constante y los costos de almacenamiento de inventarios son los mismos para cada periodo analizado.

Se propone un método heurístico de solución para este problema que permita encontrar soluciones cercanas al óptimo para el IRPTW. La heurística propuesta plantea la descomposición de soluciones y la resolución de sub-problemas usando un enfoque exacto. Además, se presenta un estudio computacional con 80 instancias adaptadas de la literatura. Estas están compuestas por 3 y 6 periodos con 5, 10, 15 y 20 clientes. Los resultados se comparan con los obtenidos por un enfoque exacto. Se demuestra la alta complejidad del problema estudiado y el impacto que existe el hecho de usar una metodología de optimización simultánea de las decisiones contra un enfoque secuencial.

Los resultados preliminares permiten concluir lo siguiente: 1. existen importantes ahorros en costos al hacer la optimización simultánea de las decisiones de ruteo e inventarios en comparación a la optimización secuencial de las decisiones. Nuestros experimentos muestran que este ahorro está alrededor del 52.4% y 7.1% cuando existen y cuando no existen ventanas de tiempo fuertes respectivamente; 2. Resolver el problema de forma exacta usando solvers comerciales (e.g.: CPLEX versión 23.5) tiene una tendencia no-polinomial en los tiempos computacionales y problemas de más de 20 clientes y 6 periodos usando un procesador AMD Athlon® 64x2 Dual Core 2.7 GHz y 3 GB de RAM no se resuelven a optimalidad en 50.000s. Esto abre importantes oportunidades para el desarrollo de métodos heurísticos y meta-heurísticos; 3. Se evidencia empíricamente que las configuraciones de las ventanas de tiempo, al restringir las decisiones de ruteo, aumentan los costos logísticos, afectando el desempeño de la cadena. Investigaciones futuras incluyen el estudio de sistemas con múltiples depósitos y múltiples vehículos, y ventanas de tiempo débiles.

### #21-Solución del problema de ruteo de vehículos dependientes del tiempo, usando un algoritmo genético híbrido con gerenciamiento de población

*Fredy Alexander Guasmayan Guasmayan, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, fguasmayan@gmail.com*  
*Eliana Toro, Universidad Tecnológica de Pereira, elianamtoro@gmail.com*

En la operación de empresas de servicios logísticos así como en empresas de distribución la congestión del tráfico urbano se constituye en un problema a considerar, debido a su efecto en los tiempos de entrega a los usuarios finales, así como en los costos de ruteo de sus flotas de vehículos. Esos costos pueden disminuir realizando planes de viajes donde se eviten las congestiones de tráfico de los centros

urbanos. En este trabajo se propone un diseño experimental que permite estimar los costos por congestión, los que se consideran como un parámetro de entrada para resolver el problema de ruteo de vehículos dependiente del tiempo, Time Dependent Vehicle Routing Problem (TDVRP). Como estrategia de solución del TDVRP se propone un algoritmo genético híbrido con gerenciamiento de la población.

Para validar la metodología propuesta se diseña un caso de prueba de una empresa de Lácteos que realiza la distribución de sus productos en el canal tienda de la ciudad de San Juan de Pasto, adicionalmente se prueba sobre casos de la literatura especializada con repuestas iguales a las publicadas y en algunos casos con un mejoramiento del 0,4%. Para el caso de la empresa los resultados encontrados con la metodología entregan una disminución del 34% en los costos logísticos de distribución de producto final representado en ahorro de combustible, además de la disminución de la flota de vehículos de 21 a 18.

Para cumplir con los requerimientos de las tiendas (clientes), inicialmente se realiza una georreferenciación de cada cliente de la empresa, estableciendo coordenadas con el fin de formar una matriz de costos entre todos sus clientes, la cual consiste en obtener mediante los servicios de Google Maps, la distancia real entre ellos.

### #22-Diseño de un modelo de optimización/simulación para la localización de vehículos en sistemas de emergencia

*Carolina Castañeda P., Universidad de Antioquia & Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, carolina.cp08@gmail.com*  
*Juan G. Villegas, Universidad de Antioquia, Medellín, juan.villegas@udea.edu.co*  
*Pablo A. Maya, Universidad de Antioquia, Medellín, pmaya@udea.edu.co*

Los sistemas de emergencia son los primeros respondientes ante incidentes que requieren atención médica inmediata en una comunidad delimitada geográficamente. El servicio prestado por estos sistemas debe ser oportuno y eficiente dado su impacto directo sobre la integridad y la seguridad de la población involucrada. Los incidentes atendidos se clasifican como emergencias, que son eventos rutinarios de bajo impacto, es decir, tienen corta duración, son estabilizados en corto tiempo y ocurren con una alta frecuencia.

En este trabajo se aborda el funcionamiento de los sistemas de emergencia desde la perspectiva de un modelo de optimización/simulación, que está compuesto por un modelo de optimización multi-objetivo integrado con un modelo de simulación discreta. El modelo multi-objetivo evalúa los siguientes objetivos: la maximización de la cobertura, la minimización del tiempo promedio de atención y la minimización del número de bases necesarias para la atención, adicionalmente se considera la inclusión de un objetivo de equidad en la prestación del servicio, con el fin de compensar la cobertura ofrecida por el sistema en tanto es posible que algunas zonas queden descubiertas debido a su baja carga de demanda y su ubicación geográfica. El modelo de simulación representa el funcionamiento de un sistema de emergencia donde se incluyen componentes probabilísticos como la llegada de llamadas que reportan incidentes al sistema, la pertenencia de éstas a determinada zona geográfica y el tiempo de atención, que se considera como una agregación del tiempo de desplazamiento de las ambulancias hasta el lugar del incidente, el tiempo que toma atender al paciente en el sitio y el tiempo en el que se libera la ambulancia, momento en el cual está nuevamente disponible para cubrir otro incidente.

La estrategia de solución diseñada para resolver el modelo de optimización/simulación tiene como marco principal el modelo de optimización multi-objetivo cuya solución se encuentra a través de un algoritmo evolutivo. Ésta solución representa una configuración del sistema que está compuesta por la localización de las bases de operación y el respectivo despliegue geográfico de las ambulancias que prestarán el servicio. Dicho modelo de optimización se apoya en el modelo de simulación para evaluar las soluciones intermedias que el algoritmo evolutivo encuentra durante el proceso de búsqueda, ésta evaluación consiste en medir el desempeño del sistema bajo las diferentes configuraciones encontradas. De esta manera, el método permite encontrar el trade-off entre los objetivos planteados para el

sistema bajo la consideración de los aspectos probabilísticos involucrados.

### **#23–Recomendación de asignaturas electivas a estudiantes universitarios a través de reglas de asociación probabilística**

*Ricardo Otero, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, r.otero@javeriana.edu.co*  
*Juan Carlos Palacios, Pontificia Universidad Javeriana, jcpalacios@gmail.com*

En las universidades que están reglamentadas por el sistema de créditos académicos y la libertad curricular, el estudiante es el último responsable de crear el plan de estudios que más se adapte a sus necesidades curriculares y aspiraciones personales de aprendizaje. En este caso, los estudiantes cuentan con apoyos institucionales como mallas curriculares o consejeros académicos. Sin embargo, ninguno de ellos apoya de manera coherente la inscripción de asignaturas de cursos de libre elección. Por una parte, la malla curricular sólo propone lineamientos de la secuencia lógica de las asignaturas obligatorias del programa académico; mientras que los consejeros académicos no necesariamente conocen toda la oferta de asignaturas electivas ofrecidas por la Universidad.

Las asignaturas de libre elección hacen parte fundamental de la formación integral de los estudiantes por su fuerte componente cultural, social y deportivo. Sin embargo, la cantidad de este tipo de asignaturas que existen en las universidades puede llegar a ser demasiado grande y opacar los intereses de aprendizaje del estudiante por la dificultad inherente de analizar todas las opciones existentes. Es más, no siempre es posible acceder a una lista general de todos los cursos de libre elección ofrecidos por la universidad, por lo que es posible que los estudiantes no elijan necesariamente las asignaturas de libre elección que más de adapten a sus intereses de formación.

En este artículo se propone un sistema de recomendación de filtros colaborativos usando reglas de asociación probabilística que permitan recomendar a los estudiantes asignaturas electivas que podrían ser de su interés, con el fin de incrementar el aprovechamiento de los cursos que ofrece la universidad y soportar el proceso de formación integral.

Los sistemas de recomendación hacen parte de las herramientas de análisis de datos y están encaminadas a predecir la afinidad o preferencia de un usuario a cierto ítem. Estos sistemas han sido ampliamente utilizados en los últimos años debido al gran crecimiento de servicios en línea que contienen en sus registros una gran cantidad de transacciones realizadas por los clientes en sus establecimientos. De esta forma, los sistemas de recomendación permiten sugerir a clientes actuales y potenciales sobre qué artículos pueden ser de su interés. Este tipo de generación de sugerencias está muy presente en sectores comerciales y de entretenimiento web como Amazon, Ebay, Netflix, Pandora, etc.

Los sistemas de recomendación basados en filtros colaborativos están basados en el profundo análisis de las bases de datos proveniente de las transacciones de otros usuarios. Una de las grandes ventajas de este tipo de sistemas radica en que no es necesario comprender los ítems en sí mismos, o tener acceso a variables que permitan categorizarlos. Para producir un conjunto de sugerencias sólo es necesario analizar el comportamiento pasado de un cliente potencial y compararlo con usuarios similares para decidir cuáles han sido las elecciones más populares entre estos usuarios.

En el presente trabajo, como caso de estudio se utilizó una base de datos proveniente de la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá que contiene los registros históricos de inscripción de asignaturas por parte de los estudiantes de los programas de ingeniería. Se presenta este desarrollo como un complemento a los consejeros académicos que facilite la difusión de las asignaturas de libre elección ofrecidas por la Universidad.

### **#24–A decomposition approach to combined maintenance and routing optimization problem**

*Carlos Franco, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, cafranco@ucatolica.edu.co*  
*Eduyn Lopez, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, erlopezs@udistrital.edu.co*

This work focuses on the problem of planning and scheduling preventive maintenance operations for a set of geographically distributed machines, subject to non-deterministic failures with a set of technicians that perform preventive maintenance and repair operations on the machines at the customer sites within a specific time window and planning horizon.

Our approach consists in two phases. The first is a replacement model to determine the number of preventive maintenance operations and the minimum and maximum number of them in the planning horizon. This model consists in a stochastic renewal process that balance the preventive and corrective maintenance cost per unit time under as good as new condition for each machine.

The second phase consists in a routing model to determine the best set of paths to visit all machines to perform the preventive maintenance operations. We formulate the problem as a periodic vehicle routing problem with time windows. Our model considers constraints as maximum duration time per period and the minimum and maximum number of maintenance operations to perform over a planning horizon. To solve the routing problem we propose a preliminary decomposition approach based on column generation. The master problem is a set partitioning formulation that consists in the set of patterns that indicates which machines must to visit in the planning horizon. The objective function is composed by two elements, the first one is the routing cost and the second one is the maintenance policy cost.

This decomposition has two auxiliary problems that generate a feasible pattern of visits. The first one is an elementary shortest path problem with time windows. This problem allows to finding a feasible path for each period. The second one finds a set of visiting days for each machine. It ensures that the number of preventive maintenance operations are between the minimum and maximum number of maintenance operations.

The novelty of this work lies in the integration of maintenance scheduling and a routing model that considers several machines and the decomposition scheme to reduce the complexity of the problem.

### **#25–Una estrategia para la disminución del apelonamiento de buses a partir de la tabla de operación en un sistema BRT con corredor compartido**

*Alejandro Ramirez, Universidad Tecnológica de Pereira, alejaramirez@utp.edu.co*  
*Alvaro Orozco, Universidad Tecnológica de Pereira, aaog@utp.edu.co*  
*Jose Soto, Universidad Tecnológica de Pereira, jomejia@utp.edu.co*

Los sistemas de Transito Rápido de Buses (Bus Rapid Transit, BRT) han ganado popularidad en el mundo entero por su relación costo-beneficio comparado con otras opciones de movilidad más costosas como por ejemplo la inversión ferroviaria. Sin embargo, la carencia de acciones de control en este tipo de sistemas hace que se presenten fenómenos como: apelonamiento de buses (bus bunching), incumplimiento de la programación, sobre-carga de los buses articulados, falta de confort y aumento en los tiempos de espera de los usuarios, generando aumento en los costos de operación y desmotivación de los usuarios para seguir usando el servicio.

Esta investigación plantea una estrategia de control para disminuir el apelonamiento de buses dadas las tablas de operación de dos rutas, que comparten un corredor vial, en un sistema de transporte BRT. La prevención del apelonamiento de los buses en el sistema aumenta la calidad del servicio.

Dado un horizonte de planificación, se maximiza la separación entre los buses articulados mediante una función objetivo no lineal que minimiza desviaciones de tiempo en las tablas de operación iniciales. Esta estrategia solo modifica los tiempos de salida de una de las tablas de operación dentro de un rango previamente establecido.

Esta estrategia está siendo implementada en el sistema de transporte público, MEGABUS, en la ciudad de Pereira.

**#26–Asignación de frecuencias óptimas, a través de un modelo multiobjetivo, para un sistema BRT, en Pereira, Colombia**

*Diego Galindres, Universidad Tecnológica de Pereira, diegogal@utp.edu.co*  
*Jose Soto, Universidad Tecnológica de Pereira, jomejia@utp.edu.co*  
*Sandra Estrada, Universidad Tecnológica de Pereira, sestrada@utp.edu.co*

La presente investigación se enmarca dentro del problema de optimización de frecuencias y recorridos conocido como TDNP (Transit Network Design Problem), con un enfoque de optimización combinatoria. El presente trabajo se centra en encontrar la frecuencia óptima de despacho de buses (programación de servicios) en el Sistema Integrado de Transporte Público, en Pereira, Colombia (SITP-MEGABUS) para cada una de sus rutas, teniendo en cuenta: la demanda de los viajes en un periodo de tiempo, la capacidad de los buses articulados y una penalización por el tiempo que algunos pasajeros deben esperar, por falta de capacidad del bus, y tomar un segundo servicio. Los recorridos y su sentido se toman como fijos, de acuerdo a la matriz topológica del sistema.

En el sistema analizado se tienen dos objetivos contrapuestos. El de los usuarios es disminuir el tiempo de viaje promedio, (tiempos de espera y tiempos de viajes) y el de los operadores es reducir los costos de operación. Se busca lograr un equilibrio satisfactorio para los dos. Adicionalmente el modelo propuesto implementa una estrategia que busca disminuir el número de pasajeros que deben esperar por un segundo servicio. El modelo se resuelve mediante una meta-heurística evolutiva.

El modelo utilizado para reproducir el comportamiento de los pasajeros dentro del sistema, asume que no todos ellos conocen el itinerario más corto hacia su destino. Así que el nivel de demanda de una ruta está determinado por la frecuencia de la misma (nivel de servicio).

El modelo se aplicó a una parte del Sistema Integrado de Transporte Público de la ciudad de Pereira, Risaralda, Colombia. El modelo fue probado para varios escenarios de demanda (baja, media y alta), dándole diferente prioridad a cada uno de los objetivos a través de diferentes ponderadores, con el fin de evidenciar los cambios en la calidad del servicio, y establecer una política de despacho adecuada acorde a los escenarios propuestos.

**#27–A probabilistic Granular Tabu Search for the Distance Constrained Capacitated Vehicle Routing Problem (DCVRP)**

*Jose Bernal, Universidad del Valle, Cli, jose.bernal@correounivalle.edu.co*  
*John Willmer Escobar, Pontificia Universidad Javeriana Cali, jwescobar@javerianacali.edu.co*  
*Juan Camilo Paz, Pontificia Universidad Javeriana Cali, juan.paz@javerianacali.edu.co*  
*Gustavo Gatica, Universidad Andrés Bello & Universidad de Santiago de Chile, Chile, gustavo.gatica@usach.cl*  
*Rodrigo Linfati, Universidad del Bío-Bío, Chile, rodrigo@linfati.cl*

We address the well-known Distance Constrained Capacitated Vehicle Routing Problem (DCVRP) in which the aim is to determine the routes to be performed to fulfill the demand of the customers by using a homogeneous fleet. The objective is to minimize the sum of the variable costs associated with the distance traveled by the performed routes. In this paper, we propose a metaheuristic algorithm based on a probabilistic Granular Tabu Search (pGTS) by considering different neighborhoods. In particular, the proposed algorithm selects a neighborhood by using a probabilistic discrete function, which is modified dynamically during the search by favouring the moves that have improved the best solution found so far. A shaking procedure is applied whenever the best solution found so far is not improved for a given number of iterations. Computational experiments on benchmark instances taken from the literature show that the proposed approach is able to obtain high quality solutions, within short computing times.

**#28–Métodos Exactos y Heurísticos para el problema de camino más corto generalizado**

*William J. Guerrero, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, william.guerrero@escuelaing.edu.co*  
*Nubia Velasco, Universidad de los Andes, Bogotá, nvelasco@uniandes.edu.co*  
*Caroline Prodhon, Université de Technologie de Troyes, Francia, caroline.prodhon@utt.fr*

El problema tradicional de camino más corto ha sido ampliamente estudiado en la literatura por sus diversas aplicaciones industriales y tecnológicas. Estos consideran un grafo etiquetado con pesos en los arcos. Este problema consiste en encontrar un conjunto de arcos que conectan un nodo particular de origen y uno de destino, formando un camino conectado, y de tal manera que la suma total de los pesos de los arcos es mínima.

Algunas variantes recientes que han sido estudiadas incluyen prohibir giros, prohibir sub-caminos, e incluir restricciones de capacidad de recursos. Adicionalmente se han estudiado problemas de ruteo con recolección en los nodos de beneficios en la función objetivo. Este problema se conoce tradicionalmente como el orienteering problem.

Este documento presenta una serie de metodologías de tipo exacto y heurístico para resolver una variante del camino más corto. Para el problema considerado, los nodos están agrupados en conjuntos predefinidos o “clústers”. Cada clúster está asociado a un beneficio a la función objetivo cuando el camino seleccionado visita uno o más nodos dentro de él. Además, el camino seleccionado debe ser elemental.

Las aplicaciones para este problema incluyen el diseño de redes de transporte público, transporte intermunicipal, diseño de redes de comunicaciones incluyendo gestión de riesgos, entre otras. La motivación principal para estudiar este problema, viene de resolver un problema de “pricing” para una variante de un problema de ruteo de vehículos con gestión de inventarios.

Se presentarán dos formulaciones matemáticas para el problema, y se compara su desempeño en un conjunto de instancias aleatorias. Las instancias utilizadas pueden tener ciclos negativos, lo que aumenta considerablemente la complejidad del problema. La primera formulación implementa restricciones de eliminación de subtours de tipo MTZ, mientras que la segunda requiere de la inclusión dinámica de restricciones dentro del marco de un procedimiento de Branch-and-Cut.

Adicionalmente, se propone un método heurístico de dos fases con el fin de obtener soluciones cercanas al óptimo en tiempo computacional limitado. En la primera fase, un algoritmo de etiquetado basado en el algoritmo de Bellman-Ford se ejecuta, truncando el número de etiquetas por nodo para acelerar la búsqueda de una solución inicial. En una segunda fase, un operador de búsqueda local se ejecuta para mejorar la solución. Experimentos computacionales se llevan a cabo para mostrar los aportes realizados por cada uno de las fases de forma independiente.

Los resultados muestran la capacidad de los algoritmos desarrollados mostrando su desempeño en instancias con hasta 100 nodos y 200 clústers. La heurística demuestra el cálculo de soluciones que tienen en promedio, un costo superior en un 1% de la solución óptima con tiempos de ejecución de alrededor 3 segundos. Instancias de mayor tamaño se resuelven para evaluar el tiempo de ejecución de la heurística propuesta en situaciones con hasta 300 nodos. Para futuras investigaciones, se plantea estudiar el problema incluyendo restricciones de capacidad de recursos y prohibición de giros.

**#29–Diseño de políticas para la reducción de la estancia hospitalaria en pacientes de la IPS Universitaria, sede Clínica León XIII**

*Tatiana Ceballos Acevedo, IPS Universitaria, taticeba@gmail.com*  
*Paula Velásquez Restrepo, IPS Universitaria, paulavelasquezr@gmail.com*  
*Juan Sebastián Jaén Posada, Universidad de Antioquia, Medellín, jjaen@udea.edu.co*

La estancia hospitalaria prolongada constituye una preocupación mundial ya que genera efectos negativos en el sistema de salud; como son aumento en los costos, deficiente accesibilidad a los servicios de hospitalización, saturación de las urgencias y riesgos de eventos adversos. Para la comprensión de esta situación, se realizó una revisión de la literatura donde se encontró que el factor más comúnmente encontrado dentro los hospitales que prolonga la estancia es la demora en la realización de procedimientos quirúrgicos y diagnósticos, seguido de la necesidad de atención en otro nivel de complejidad, de la situación socio-familiar y la edad del paciente. La revisión evidencia la necesidad de desarrollar mayores niveles de eficiencia y calidad en la administración hospitalaria, que permita la reducción de costos en el sistema y el acceso de la población a la atención de salud. De ahí, la necesidad de las instituciones de salud de reducir la estancia a niveles adecuados sin afectar la calidad de la atención. Según Advisory Board International, los hospitales que logran reducir las estancias prolongadas pueden agregar camas aumentando su capacidad efectiva; entonces para un hospital de 300 camas, reducir la estancia en un día equivale a contar con 49 nuevas camas aproximadamente.

En el presente trabajo, bajo el marco de ingeniería con la validación de disciplinas de salud, se presenta una metodología aplicada en la Clínica León XIII, que orienta la toma de decisiones en el proceso hospitalario para esta situación. En este trabajo se analizó la estancia hospitalaria en relación al factor más comúnmente encontrado en la literatura: la demora en la realización de procedimientos; el cual es directamente intervenible por la administración de la clínica. Este factor implica la interacción del proceso de hospitalización con los servicios de ayudas diagnósticas e interconsultas médicas.

Comprendiendo que la prolongación de la estancia es un problema complejo y multicausal, que depende de la interacción sistémica entre los servicios que intervienen en el proceso de atención, con muchos enlaces de retroalimentación y demoras, se consideró utilizar dinámica de sistemas como metodología para estudiar esta situación. Se elaboró un modelo que representa la dinámica del proceso de atención entre la ronda\* médica, la generación de solicitudes y respuesta de interconsultas y ayudas diagnósticas, y los días de estancia de los pacientes. Luego de la validación, se plantearon escenarios que consistieron en disminuir la inoportunidad de las ayudas diagnósticas e interconsultas según los estándares establecidos en la Clínica León XIII. Esto con el fin de analizar la reducción potencial en la duración de la estancia hospitalaria en relación con los retardos de estos servicios en sincronía con las rondas. Los resultados obtenidos con este modelo muestran que el nivel de los tiempos de respuestas de las ayudas diagnósticas e interconsultas está prolongando la estancia de pacientes en la Clínica León XIII. Por lo tanto, se requiere intervenir su inoportunidad para que se tenga disponible las ayudas diagnósticas y el concepto de la especialidad interconsultada al siguiente día que se realice la ronda.

**#30–Improving environmental performance of operating supply chains: The cement industry case**

*Nora Cadavid, Universidad Eafit, Medellín, ncadavi1@eafit.edu.co*  
*Mario César Velez, Universidad Eafit, Medellín, marvelez@eafit.edu.co*

Due to the explosive growth of goods and service consumption, the achievement of minimal sustainability goals requires very intensive advances in production techniques. Nevertheless, even the implementation of the current best available technologies (BAT) is a big challenge for global environmental impact reduction. Under this situation, to reduce the gap between the current production technologies and the BAT, becomes a strategic subject. Thus, it is

necessary to develop tools that allow to make better improvement decisions in terms of environmental and financial results. Those tools are particularly important when the problem involves a complex supply chain with several production plants; a situation that is often found in global contexts. As companies grow, usually through mergers and acquisitions, more complex systems emerge, with a set of diverse production plants, and different technical, financial and environmental conditions.

To tackle this problem, multiobjective optimization arises as the appropriate approach because of the possibility to find a set of solutions that clearly represents the "planet and profit trade off". The need for simultaneous evaluation of environmental and financial variables have been widely recognized from the point of view of the design of a supply chain, but there is a big difference between designing a process from scratch and improving an operating process. In terms of the mathematical modelling, the latter requires a way of recognizing the current state of the technologies, and the cost of changing them. In financial terms, it means that the new technologies may be more efficient and generate operating costs savings, but the cost of retrofit, or even more, the cost of dismantling an older technology and installing a new one could be so high that it may only be attractive if the production capacity is increased and hence, this could imply changes in the production-distribution network. The risk associated with increased transportation distances resulting from these strategies is "often not take into account or underestimated". These shifts in priorities of companies force them to search for "new logistics strategies that are at the same time cost-efficient, environmentally friendly and reliable". That necessarily means a new perspective in supply chain management, that needs to link network design and technical decisions. Both, logistics and technical improvement decisions have direct impacts over environmental and financial indicators.

A case study is presented that refers to a cement supply chain in Colombia, with 10 production plants and different obsolescence conditions. Those plants have recently merged as a single company that has established as a strategic objective to improve its total environmental performance, particularly, in reference to CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> emissions, at the lowest possible financial cost. The case reflects a near real situation but the data related to plant location, current operating technologies, production capacities, demand and costs are fictitious. Emissions and cost assigned to the operation of each possible production technology are based on the technical literature of the cement sector. Considering that technical information, it is proposed a model to find a set of solutions that offers environmental and financial advantages.

**#31–Simulación de procesos de control de inventarios**

*Julio Ernesto Camargo Bejarano, Escuela de Administración y Mercadotecnia del Quindío, jcamargo@eam.edu.co*

Algunos conceptos de la investigación de operaciones no son fáciles de enseñar con la metodología de enseñanza-aprendizaje tradicional, ya que los temas generalmente se abordan desde una perspectiva mucho más teórica que práctica, lo cual presenta el inconveniente de invitar al estudiante a repetir contenidos o simplemente memorizar sin despertar la capacidad de análisis necesaria en su formación. Además, debido a su naturaleza fragmentaria, el sistema tradicional no permite observar las interconexiones que existen en cada uno de los procesos estudiados, dificultándose el aprendizaje significativo, puesto que no se visualiza el funcionamiento ni la evolución del sistema estudiado ni la interacción entre los diferentes elementos que lo integran.

Con el presente trabajo, se pretende colaborar en el mejoramiento de la metodología de enseñanza-aprendizaje tradicional en algunos temas y problemas que son abordados a través de los procesos de control de inventarios. Para ello, presento la aplicación de la simulación dinámica como complemento práctico para el modelamiento y optimización de los procesos establecidos teóricamente, así se mejora la comprensión de los componentes teóricos importantes y se confrontan los conocimientos adquiridos con problemas de aplicación a la realidad.

Luego, analizo el comportamiento del modelo determinístico de la cantidad óptima de pedido y el modelo estocástico de revisión continua utilizando el software STELLA® 8.0 con el fin de comparar los resultados de los modelos matemáticos teóricos con los resultados de la simulación.

Una vez desarrollados los respectivos modelos teóricos y comparados los resultados con los modelos de simulación desarrollados, se concluye que los resultados son similares, pero los modelos dinámicos ofrecen una mejor posibilidad de apreciar el comportamiento de las variables y parámetros importantes a través del tiempo, facilitando una mejor comprensión de los procesos estudiados.

### **#32-Modelo de simulación para analizar el problema de relocalización de las ambulancias de un Servicio de Emergencia Médico (SEM)**

*Alma Karina Rodríguez Quintero, Universidad de Antioquia, Medellín, alma.rodriguez@udea.edu.co*

*Gloria Milena Osorio Osorio, Universidad de Antioquia, Medellín, gloriamilenaos@gmail.com*

*Pablo Andrés Maya Duque, Universidad de Antioquia, Medellín, pmaya@udea.edu.co*

Los Servicios de Emergencias Médicas (SEM), son sistemas responsables de la estabilización y transporte pre-hospitalario de pacientes con urgencia y emergencia médicas. Una de las metas de los Servicios de Emergencias Médicas-SEM es mejorar el tiempo de respuesta ante la ocurrencia de un evento, el cual generalmente se ve afectado por decisiones relacionadas con problemas de localización y re-localización de vehículos. Las decisiones de localización de los vehículos de un SEM son decisiones de orden estratégico, mientras que las decisiones de re-localización se enmarcan en el orden operativo y se toman en el día a día del servicio. En la literatura se encuentran referencias que hacen mención a la importancia de abordar ambos problemas, sin embargo, a la fecha la mayoría de los estudios se han enfocado en trabajar problemas de localización.

Para realizar la relocalización de un vehículo se hace necesario cambiar la ubicación asignada a un vehículo con el propósito de mejorar en tiempo real la cobertura del SEM. En la actualidad, el proceso de relocalización de los vehículos en un SEM generalmente se realiza en forma manual, es decir, el despachador de acuerdo a su experiencia informa a las ambulancias cual debe ser su nueva ubicación. Sin embargo, al revisar la literatura se encuentra que aspectos como los cambios de turno que son frecuentes en la mayoría de los SEM a nivel mundial, el agotamiento y reducción de la habilidad mental que se puede presentar en días de alta demanda y los acelerados cambios de los entornos hacen necesario que los encargados de tomar estas decisiones se apoyen en metodologías que les permitan obtener óptimas soluciones para los problemas de relocalización.

En el presente trabajo se desarrolla un modelo de simulación de eventos discretos que permite evaluar políticas de re-localización de un SEM. El desarrollo de dicho modelo consideró el análisis estadístico de la información propia de la operación de un sistema real, con información de un periodo de 30 meses comprendido entre los años 2012 a 2014. Dicha información contiene los registros del proceso de atención de 261.818 solicitudes de servicios, indicando el tipo de servicio prestado, tiempo relacionados con la recepción y atención de la solicitud, tipo de vehículo utilizado, localización del evento, entre otros. Así mismo, se implementó un modelo del sistema en Simul8 y se estudiaron detalladamente algunas de las alternativas de política de relocalización que permitieron el análisis del tiempo de respuesta del SEM de estudio, evitando los costos elevados o situaciones de alto riesgo que pueden conllevar una experimentación.

### **#33-Aproximación a un modelo de medición del desempeño estudiantil mediante la aplicación de minería de datos educativa en ambientes virtuales de aprendizaje: un estudio de caso en la educación superior**

*Delio Alexander Balcázar Camacho, Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, alexefr@gmail.com*

*Rubén Francisco Manrique Piramanrique, Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, rfmanrique@unal.edu.co*

*José Joaquín Parrado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, parrado.j@javeriana.edu.co*

El desempeño estudiantil en ambientes virtuales es altamente dependiente de factores asociados a la disposición y el acceso a contenidos en portales de autoaprendizaje y la metodología usada por el estudiante para revisarlos. Factores como el contacto personal con el docente y la realimentación sobre el desempeño obtenido a través de las pruebas del curso, constituyen elementos que pueden influir sobre el rendimiento académico y que son difícilmente identificables en ambientes virtuales. A través de esta investigación se presenta un enfoque de análisis usando minería de datos educativa para determinar factores asociados al desempeño estudiantil en cuatro escenarios de evaluación en ambientes virtuales, mostrando la relación del escenario, frente al desempeño obtenido y relacionándolo con el compromiso del estudiante usando el caso de un curso de ingeniería en una universidad bogotana.

### **#34-Un modelo de localización-ruteo con múltiples objetivos para localizar albergues e identificar rutas de evacuación posdesastre en la ciudad de Bucaramanga.**

*Henry Lamos Díaz, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, hlamos@uis.edu.co*

*Karin Aguilar, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, nirak.imitola@gmail.com*

En el departamento de Santander, las actividades desarrolladas por el hombre aunadas a las condiciones geomorfológicas naturales de la región, reflejan diversas condiciones de riesgo, que al materializarse en desastres, afecta el desarrollo de la región y expone a la población a diversas amenazas principalmente asociadas a fenómenos naturales como inundaciones, remoción de masa, tempestades o sismos. La actividad sísmica en Santander se concentra en el denominado Nido sísmico de Bucaramanga, catalogado como una de las zonas de mayor actividad sísmica del mundo, y ubicado a 50 km de la ciudad de Bucaramanga.

En consideración con lo anterior, se requiere evaluar la vulnerabilidad de los elementos expuestos y el riesgo, para establecer un plan de contingencia que mitigue los efectos sobre la población. Este trabajo propone un modelo para la localización de albergues y diseño de rutas de evacuación pos desastres en la ciudad de Bucaramanga, utilizando el problema de localización-ruteo (LRP). En un LRP, el número óptimo, la capacidad y la ubicación de las instalaciones es determinante así como el conjunto de rutas de vehículos de cada instalación; por lo cual, ha sido usado por diferentes autores como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en gestión de desastres, ya que el número y la ubicación de instalaciones de rescate, así como la definición de las rutas de evacuación, atención de víctimas y suministro representan aspectos importantes en la atención de desastres.

El modelo propuesto, tiene un enfoque multiobjetivo que busca, minimizar la distancia total de viaje y el tiempo requerido para que las personas se transfieran desde el punto del evento hasta el albergue asignado; y la minimización del costo de apertura de las instalaciones de rescate.

Se imponen varias restricciones en el diseño del problema relacionadas con las instalaciones, la demanda y las rutas; y se proponen tres eslabones de intervención, en los cuales se refleja la cadena de atención. Se establecen 5 tipos de instalaciones a ubicar, cada una de ellas localizadas dentro de algún eslabón de acuerdo a su rol en el sistema de emergencia, a las cuales se les asignan criterios de decisión. Por otra parte, se usa un enfoque de agregación de demanda que busca reducir la dimensionalidad del problema; además, se considera que la

demanda varía de acuerdo a la jornada del día, en relación con las características de la zona estudiada. Respecto a las rutas de evacuación, se usan dos tipos: primarias y secundarias o de reserva, ambos tipos conectan los nodos de demanda con los albergues; las rutas secundarias se plantean para ser usadas en caso que las rutas primarias sean intransitables, para su construcción se utilizan reglas de diversificación

El resultado esperado es la construcción e implementación de un modelo que facilite la toma de decisiones durante la atención de desastres por sismos que se pueda presentar en la ciudad de Bucaramanga, de forma que el modelo propuesto se ajuste a las necesidades reales de la región.

### **#35–Metodología de solución híbrida: heurística-metaheurística-enumeración implícita 1-0 para el problema de ruteo de vehículos capacitados (CVRP)**

*David Escobar Vargas, Universidad Tecnológica de Pereira, davesco24@gmail.com*

*Ramón A. Gallego Rendón, Universidad Tecnológica de Pereira, ragr@utp.edu.co*

*Antonio H. Escobar Zuluaga, Universidad Tecnológica de Pereira, aesobar@utp.edu.co*

El problema de ruteo de vehículos capacitado (CVRP) busca diseñar un conjunto de rutas que permitan atender todas las demandas de un conjunto de clientes usando una flota homogénea de vehículos de carga limitada, los cuales deben salir de un depósito, visitar los clientes asignados a su ruta y regresar al depósito. Cada ruta tiene un costo asociado representado por la suma de las distancias de las conexiones que la conforman. En este trabajo se presenta una metodología matheurística para resolver este problema y se prueba en instancias disponibles en la literatura especializada. La matheurística combina algoritmos heurísticos, un algoritmo genético eficiente y la técnica exacta de enumeración implícita 1-0 de Balas.

Se usa un algoritmo genético de Chu-Beasley, el cual determina el número de vehículos que se deben despachar y también asigna a cada vehículo los clientes que debe visitar en la ruta asignada. En una etapa del algoritmo genético, denominada etapa de mejoría local, para cada vehículo se realiza una búsqueda exhaustiva que encuentra la ruta óptima (de menor distancia) que se debe seguir para atender los clientes asignados. Esto quiere decir que cada ruta por separado es óptima pero la solución global puede no ser la óptima si la asignación de clientes por vehículo no es la adecuada. A cada propuesta se le calcula el costo total (suma de costos de todas las rutas) y a través de un proceso continuado de selección, recombinación y mutación se alteran las propuestas de solución de tal forma que después de varios ciclos generacionales se obtenga una solución de alta calidad y eventualmente la solución óptima del problema. Las alternativas de solución se codifican de forma eficiente usando un vector de tamaño constante. El algoritmo genético crea rutas nuevas, elimina rutas existentes de baja calidad, intercambia clientes dentro de una misma ruta e intercambia clientes que pertenecen a diferentes rutas. El algoritmo exacto de enumeración implícita 1-0 de Balas no crea ni elimina rutas y no intercambia clientes entre rutas.

El algoritmo genético parte de una población inicial de buena calidad construida usando la combinación de varias técnicas heurísticas, dentro de las cuales se encuentra el algoritmo de Lin-Kernighan, un algoritmo heurístico que usa el concepto del vecino más cercano y un algoritmo de ahorros modificado.

Los algoritmos se implementaron en lenguaje C++ y para la validación de la metodología se emplearon varias instancias de prueba disponibles en la literatura especializada, con tamaños entre 32 y 40 clientes obteniendo la mejor solución conocida: Best Known Solution (BKS) en todos los casos. Uno de los mayores aportes de este trabajo es la utilización del algoritmo de enumeración implícita 1-0 de Balas, el cual muestra un muy buen desempeño en la búsqueda de soluciones y es un método que no ha sido aplicado antes al problema de ruteo de vehículos.

### **#36–Estudio del impacto del tamaño de lote de transferencia en el desempeño de un sistema productivo tipo job shop considerando tiempos de transporte**

*Myriam Niño López, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, myleni@uis.edu.co*

*Henry Lamos Díaz, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, hlamos@uis.edu.co*

*Paula Jaimes Sanmiguel, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, paula.jaimes@correo.uis.edu.co*

*Vanessa Rivera González, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, julieth.rivera@correo.uis.edu.co*

La programación de operaciones es un proceso de decisión fundamental en un taller productivo, dado que tiene un alto impacto sobre los tiempos de finalización de los trabajos y por lo tanto, en el tiempo de respuesta al cliente. Este trabajo aborda el problema de programación en un taller productivo tipo job shop y busca analizar estadísticamente el impacto de la estrategia de fraccionamiento de lotes, también conocida como lot streaming, sobre las variables de desempeño makespan y capacidad ociosa. Esta estrategia apoya el problema de la programación, puesto que busca acelerar el flujo de los trabajos a lo largo del sistema para reducir los tiempos de finalización, gracias al transporte frecuente de lotes de transferencia menores al lote de proceso.

Para llevar a cabo el análisis, se comparan cuatro políticas de fraccionamiento; la primera política consiste en la transferencia del lote de proceso completo; la segunda, en el lote de proceso dividido en dos; y la tercera y cuarta política corresponden a transferencias de tres y cuatro sublotes, respectivamente. Para cada política el problema se modela por medio de programación lineal entera mixta y se resuelve en el software GAMS, con el fin de minimizar el makespan.

Con el propósito de determinar el beneficio del lot streaming en escenarios de pequeña, mediana y gran escala de volúmenes de producción, se estudia el comportamiento de las variables de desempeño para tres niveles de demanda que afectan la carga productiva del sistema. Además, se varía el porcentaje de participación de cada producto en la demanda agregada, para eliminar su efecto sobre las variables respuesta.

Adicionalmente, teniendo en cuenta que la aplicación del fraccionamiento de lotes conlleva al aumento de la transferencia de materiales, se consideran las actividades de transporte dentro del estudio para brindar una aproximación más realista al problema. Estas actividades son realizadas por un agente transportador asignado a cada centro de trabajo. El tiempo de transporte está compuesto por un tiempo de transferencia de material que depende del número de unidades a cargar y descargar, y un tiempo de regreso del agente transportador vacío entre centros de trabajo.

Finalmente, el análisis estadístico permite concluir que el fraccionamiento de lotes representa un beneficio significativo en el desempeño del sistema, en términos del makespan y la capacidad ociosa; siendo la transición de la primera a la segunda política, la que genera mayor beneficio sin exigir grandes cambios en el sistema de manejo de materiales.

### **#37–Regularización de departamentos de áreas desiguales a partir de soluciones planteadas al problema de distribución de planta**

*Carlos E. Díaz B, Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, cediazbo@uis.edu.co*

*Javier E. Arias O, Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, jearias@uis.edu.co*

*Jorge A. Arias G, Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, jargar\_07@hotmail.com*

*Fabían A. Camargo C, Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, getcam@hotmail.com*

El problema de la ubicación de facilidades de producción dentro del área de una planta, hace referencia al “Problema de Diseño de Plantas” conocido como FLP por sus siglas en inglés, el cual tiene un impacto significativo sobre los costos totales de operación y producción, y la

eficiencia global de las operaciones en los distintos diseños puede reducir hasta un 50% los gastos totales de la operación (Tompkins et al., 1996).

Las tres principales decisiones interdependientes del diseño en el Problema de Distribución de Planta son: 1. La determinación de las formas y ubicaciones de los facilidades dentro de la instalación, llamada el problema de distribución del bloque conceptual. 2. La determinación de las ubicaciones de los puntos de entrada y de salida E/S en los límites de cada facilidad. 3. El diseño de las líneas de flujo o pasillos que conectan esos puntos E/S. Aunque estos tres problemas están relacionados, se han desarrollado por separado debido a las dificultades computacionales (Kin y Goetschalckx 2003).

En la decisión 1, para la solución de problemas de facilidades con requerimientos de áreas desiguales, han sido propuestos en la literatura métodos basados en curvas de llenado, que llevan a diseños de áreas desiguales con formas irregulares que en términos reales no son muy apropiadas o muy prácticas, debido a que en diversas ocasiones no permiten el aprovechamiento de los espacios o generan limitaciones dentro de los mismos. Para favorecer el acondicionamiento de las instalaciones, las facilidades de áreas desiguales deben tener formas regulares.

El punto de partida para el desarrollo de la investigación, es la distribución de las facilidades en la planta utilizando los métodos metaheurísticos propuestos para un algoritmo híbrido genético, planteado por Lee y Lee (2002) y de Optimización del Apareamiento de las Abejas de Miel propuesto por Abbas Afshar (2006). Sin embargo, dichas soluciones presentan inconvenientes debido a las formas irregulares de algunas o todas las facilidades de áreas desiguales. Para la solución de estos inconvenientes, se exponen cuatro "algoritmos de forma" presentados por Geun-Cheol Lee, Yeong-Dae Kim (2000). Los algoritmos sugeridos convierten un diseño de bloques determinado en el cual algunas o todas las facilidades son de formas irregulares, en un nuevo diseño de bloques en el cual todas las facilidades tienen una forma regular (rectangular o cuadrada). Dicho diseño de bloques conserva las posiciones relativas de los departamentos tanto como es posible, y a su vez el valor objetivo no cambia significativamente con lo cual se puede conservar la calidad del diseño original.

En el estudio, se diseña y desarrolla una herramienta computacional en MATLAB con la capacidad de regularizar las facilidades de áreas desiguales obtenidas por las metaheurísticas sin deteriorar la calidad de los valores de la función objetivo en la que se considera la relación de aspecto y la distancia total de transporte como medidas de comparación. Finalmente se realiza un análisis de rendimiento e incrementos porcentuales para cada uno de los algoritmos implementados por separado.

### **#38-Alternativa de solución al problema de distribución de planta (FLP) de un solo nivel con estructuras internas, muros y pasajes, a partir de métodos metaheurísticos**

*Carlos E. Díaz, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, cediazbo@uis.edu.co*

*Erika M. Rueda Jaimes, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, meliirueda@gmail.com*

*Giovanny A. Villamil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, gianviro@gmail.com*

*Henry Lamos D., Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, hlamos@uis.edu.co*

El Problema de Distribución de Planta, conocido como FLP por sus siglas en inglés (Facility Layout Problem), es un problema industrial común que pretende establecer una configuración factible, relacionada con la ubicación de los diferentes facilidades industriales que componen una planta dentro de la misma, de tal forma que se cumplan con objetivos de minimizar el costo del transporte de material, representado en la minimización del flujo de material entre las instalaciones teniendo en cuenta las restricciones establecidas.

El problema de diseño de plantas ha sido de gran interés en la investigación debido al enorme impacto que puede ejercer sobre los costos totales de operación y producción ya que la eficiencia global de las operaciones se puede reducir hasta un 50% dependiendo del

diseño establecido (Tompkins et al., 1996). Sin embargo, la gran cantidad de trabajos encontrados en la literatura resuelve el problema de asignación de facilidades sin tener en cuenta la forma requerida y la necesidad de fijar estructuras y pasillos de circulación de personas, materiales, productos y equipos.

En este trabajo se aborda el problema de distribución de planta de un solo nivel con estructuras internas (muros y pasajes), en el que se establece como objetivo minimizar las distancias recorridas debidas a los desplazamientos entre las distintas facilidades, cumpliendo las restricciones de los anchos establecidos por las normas para los pasillos, así como las condiciones de forma de las facilidades que busca la regularización de las formas a las necesidades de dimensión establecidas por la relación largo ancho. La distancia entre las instalaciones diseñadas se calcula mediante el uso de teoría de grafos. Para la solución se plantea un algoritmo genético modificado y la evaluación se realiza mediante simulación de escenarios en MATLAB.

### **#39-Metaheurística Honey-Bees Matching Optimization (HMBO) aplicada a la solución del problema de distribución de planta (FLP) con departamentos de áreas iguales y desiguales**

*Carlos E. Díaz B, Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, cediazbo@uis.edu.co*

*Ginna M. Cote Ramirez, Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, ginna\_cote@hotmail.com*

*Diana C. Mendoza Moreno, Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, dianac614@hotmail.com*

El problema de distribución de plantas (FLP), consiste en ubicar de forma adecuada los departamentos, ya sean oficinas, máquinas o centros de trabajo en un área disponible. Sin embargo, la distribución óptima de una planta puede ser interpretada como un problema de optimización combinatoria, cuyo espacio de soluciones está conformado por todas las distribuciones factibles a realizarse, por lo tanto a medida que aumenta el número de departamentos el problema se hace exponencialmente más complejo. Garey y Johnson (1979) definieron el FLP como un problema NP-Hard.

Encontrar una buena distribución de planta ha sido un área de la investigación de operaciones que ha despertado un gran interés de estudio a través del tiempo, debido a que un diseño de planta bien hecho contribuye a reducir tiempos y minimizar costos dentro de la empresa. Este proyecto de investigación se concentra en un nuevo enfoque no presentado en la literatura, basado en el estudio de la metaheurística Honey-Bees Matting Optimization (HBMO), la definición de sus parámetros y su aplicación al problema planteado mediante el diseño de un algoritmo codificado en MATLAB, el software suministra herramientas suficientes para dar solución al problema, cuenta con un lenguaje de programación sencillo y buen desempeño en el procesamiento de datos.

Para conocer el desempeño de la herramienta diseñada y la eficiencia del método de solución elegido, se resuelve un conjunto de instancias presentadas en la literatura y posteriormente se examinan los resultados obtenidos mediante un diseño de experimentos.

### **#40-Gestión constructivista de conocimientos sobre cadena de suministro, supply chain (SC)**

*Cesar Jaramillo, Universidad Tecnológica de Pereira, cejana@utp.edu.co*

Hoy por hoy no son las empresas las que compiten entre sí. Son las Cadenas las que compiten por el dominio de los mercados, por sobrevivir, por devorarse entre sí, por crecer, por desarrollarse. Ayer en GEIO, y hoy como gestor independiente, me he dedicado a gestionar conocimientos lúdico-constructivistas sobre muchos temas contenidos en las ciencias de la Administración y de la Ingeniería. Ese conocimiento ha llegado a más de 25 universidades de todo el país. Hoy planteo un curso básico sobre Cadenas de Suministro, (SC), compuesto por 22 micromundos que nos permiten VER, de manera sistémica, la naturaleza y el funcionamiento de la SC. Luego de vivir en el salón de clase estos micromundos, el estudiante quedará con conocimientos sólidos sobre más de 20 conceptos que le dan soporte fundamental a la ciencia de las SC y con muchas competencias sobre el tema. Durante el

curso, permanentemente se hibridan y especializan conocimientos sobre las SC. Esos 22 micromundos se pueden clasificar en 5 categorías:

1. De fundamentación: Competencias del Pensador Sistémico, la Conexidad, Los flujos y los niveles, Realimentaciones negativas de primer y segundo orden, los puntos básicos de la SC y la Integridad de los Sistemas.
2. De ilustración: Un eslabón de la cadena.
3. De los entornos: Estilos de conducta según los Eneagramas, la realidad, los mercados de conocedores de SC, casos reales.
4. El Beer Game clásico Doble Demora.
5. Variantes: El Beer Game con Demora Sencilla, Estacionario, Cross Docking, Risk Pool, Sincronizado, la SC de la Siemens, Hoop Dreams.
6. Simulación con ayuda del computador, el Beer Game de Navarra.

Entre los conceptos que se VEN en estos micromundos se cuentan: almacenamiento, bullwhip, condiciones de producción, competencia contra cooperación, confiabilidad, coordinación de decisiones, dependencias, disponibilidad, distorsión de información, distribución y canales, enfoque kanban, enfoque lean, indicadores y niveles estratégicos, indicadores sistémicos, impacto de incertidumbre, inventarios, la logística como función de la SC, medida de calidad del servicio, niveles tácticos, niveles operativos, (MPRII y CPFR), posposición de culturas, reingeniería, relación entre decisiones, servicio al cliente, shortage gaming, sincronización, suministro de materiales, transporte y WMS forward buying. Los conocimientos vienen de obras de reconocidos autores como: Sunil Chopra, Jay W. Forrester, Lapid-Bodga, John D. Sterman, Linda Booth Sweeney, Ely Goldrat, Jennings, David Simchi-Levi, Lawrence D. Fredendall, Robert Louis Flood, Donald J. Bowersox, Julien Bramel, W. Edwin Jarmain, entre otros.

#### **#41-Un modelo matemático para el soporte a la planificación integrada entre cosecha forestal y aserraderos**

*Sebastián Fuentealba Rivas, Universidad del Bío-Bío, Chile, sebfuent@alumnos.ubiobio.cl*

*John Willmer Escobar, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, jwescobar@javerianacali.edu.co*

*Gustavo Gatica, Universidad Andrés Bello & Universidad de Santiago de Chile, Chile gustavo.gatica@usach.cl*

*Rodrigo Linfati, Universidad del Bío-Bío, Chile, rodrigo@linfati.cl*

La industria forestal es una importante fuente económica para muchos países, tales como Nueva Zelanda, Brasil, Canadá, Chile y Portugal. Se considerara una empresa de servicios forestales, donde sus servicios se centran en la realización de las faenas de cosecha. Una vez que a los rollizos se le aplica las reglas de trozados, son enviados a los diferentes clientes del bosque para responder con los compromisos adquiridos. Dentro de los clientes del bosque se encuentran los aserraderos, en donde una de las decisiones de planificación es el definir qué tipos de esquemas de corte se le aplicará a los rollizos para obtener los diversos tipos de tablas.

Durante el proceso de planificación táctica de la cosecha forestal, se deben tomar decisiones de la manera en que se extraerá los árboles desde cada uno de los rodales y subrodales, en que momento, en qué cantidad y por cuánto tiempo se almacenaran antes de ser enviado a los clientes del boque. Cada árbol cosechado debe ser trozado en rollizos usando una de todas las posibles reglas de trozado, las cuales están acotadas por las características de este (diámetro, largo, edad, etc.). Los destinos más comunes para estos rollizos son aserradero, celulosa, y exportación.

En los aserraderos, se debe decidir los esquemas de corte a utilizar, los niveles de inventario a mantener y como forma se cumplirá la demanda de los clientes. Para un mejor uso de la madera se deben utilizar patrones de corte que permitan generar de forma eficiente los productos demandados por los clientes del aserradero.

Dentro de las características novedosas del modelo propuesto en el presente estudio tenemos: a) se integra las decisiones de la cosecha forestal y los aserraderos, las que generalmente son abordados de forma separada, permitiendo evaluar el efecto de las decisiones de una industria en la otra; b) se permite el remplazo de productos, en ambas

industrias es común que se envíen productos con características superiores a las solicitadas por el cliente en caso de no disponer del producto solicitado, pudiendo comparar entre soluciones en donde se deben cambiar los rodales (rollizos) a usar, uso de nuevas reglas de trozado (esquemas de corte) en el bosque (aserradero) o el enviar un producto de mejores características que el solicitado; c) generación de forma dinámica de reglas de trozado (esquemas de corte) por medio de la integración de un generador heurístico y el uso de generación de columnas. Estas características que entregan un enfoque más holístico al problema permitiendo tomar mejores decisiones a nivel táctico, además de flexibilidad y generar una mayor gama de posibilidades soluciones al momento de programar la producción.

El modelo de programación lineal se implementó en lenguaje C++ utilizando la tecnología Concert y CPLEX 12.5.1 de IBM. Los datos de los parámetros fueron generados de acuerdo a información recopilada mediante reuniones solicitadas a personas que trabajan en el rubro. El set de instancias está compuesto por una instancia base y 20 instancias en donde se modificaron características (ej. Tolerancia del remplazo de producto) para evaluar el comportamiento del modelo.

#### **#42-Una máquina evolutiva para el Strip Packing Problem**

*Gustavo Gatica, Universidad Andrés Bello & Universidad de Santiago de Chile, gustavo.gatica@usach.cl*

*Carlos Contreras Bolton, Universidad de Santiago de Chile, carlos.contrerasb@usach.cl*

*John Willmer Escobar, Pontificia Universidad Javeriana Cali, jwescobar@javerianacali.edu.co*

*Rodrigo Linfati, Universidad del Bío-Bío, Chile, rodrigo@linfati.cl*

*John Camilo Cifuentes Taborda, Fundación Universitaria los Libertadores, Bogotá, johncamilo.ct@hotmail.com*

En industrias como la de la madera, vidrio o papel, se pueden observar principalmente el corte de piezas regulares, que puede ser generalizado tomando un número de piezas rectangulares dadas y un contenedor o tira de ancho fijo y altura infinita. El objetivo es obtener una tira con la disposición de todos los elementos sin solapamientos de modo de minimizar la altura. Este problema estudiado en la literatura y conocido como Strip-packing problem, pertenece a la familia de los problemas NP-Duros. El caso estudiado permite rotar las piezas en 90° y cortes no guillotina. En la actualidad, se han implementado un sin número de heurísticas, siendo los algoritmos genéticos puros e híbridos los más utilizados. En este trabajo se aborda el problema, mediante algoritmos genéticos paralelos colaborativos, utilizando una codificación binaria, con el objetivo de recorrer el espacio de búsqueda de manera eficaz, siendo la función objetivo no sólo la minimización de la altura de la tira, sino que adicionalmente penalizar el área interna que se produzca entre las piezas colocadas, con el objetivo de privilegiar soluciones que posean una diferencia geométricamente pequeña. Con este fin se realiza un experimento computacional con las instancias de la literatura. El número de piezas van del orden de 16 a 1.048.576. Los resultados mostrados hasta ahora son promisorios, ya que se obtienen soluciones con bajos tiempos computacionales, igualando los resultados presentes en la literatura.

#### **#43-Impacto del flujo del paciente en la estancia hospitalaria: Un estudio bajo dinámica de sistemas**

*Sebastian Jaen, Universidad de Antioquia, Medellín, sebastianjaen@gmail.com*

*Paula Andrea Velásquez Restrepo, IPS Universitaria, Medellín, paulavelasquezr@gmail.com*

La estancia hospitalaria es uno de los indicadores más importantes en la evaluación del desempeño de una entidad asistencial. Su prolongación aumenta sensiblemente los costos del hospital debido a la baja rotación de la cama y las consecuencias que este hecho genera. Entre ellas, se ha encontrado que un hospital con baja rotación de cama aumenta el número de eventos adversos en la prestación del servicio (caídas de los pacientes), así como el riesgo de trasmisión de infecciones entre pacientes. Otros efectos menos visibles se presentan sobre la capacidad del hospital para generar altas y permitir el acceso

al servicio de nuevos pacientes. La prolongación de la estancia se puede deber a dos causas fundamentales: médicas y de procesos. Las médicas sugieren que por decisiones médicas o de las condiciones del paciente, el tratamiento de este se tome más de lo establecido en términos de tiempo para determinado tipo de enfermedad. Las de procesos, involucran todo tipo de operaciones administrativas que retrasan el tratamiento y que usualmente no se deben a causas médicas sino de procesos. Este trabajo muestra el caso de dos hospitales de alta complejidad de la ciudad de Medellín que presentan problemas de estancia prolongada debido a causas de procesos, en especial, el flujo del paciente. Se desarrolla una metodología, que con el uso de la dinámica de sistemas, vincula la duración de la estancia hospitalaria con el flujo del paciente, y permite determinar las condiciones de atención necesarias para satisfacer la demanda.

#### **#44–Una herramienta para la planeación y programación de cirugías en ambientes con limitada disponibilidad de especialistas**

*Carolina Saavedra, Universidad de Ibagué, carolina.saavedra@unibague.edu.co*  
*Fabián Castaño, Universidad de Ibagué, fabian.castano@unibague.edu.co*  
*Nubia Velasco, Universidad de los Andes, Bogotá, nvelasco@uniandes.edu.co*

En este trabajo se considera la planeación y programación de los procedimientos quirúrgicos en una clínica privada regional de tercer nivel. El área de cirugía representa alrededor del 40% de los ingresos totales de la clínica estudiada y se constituye como uno de sus departamentos más costosos. En el ámbito operativo, se ha identificado que la programación de las intervenciones quirúrgicas depende fuertemente de la disponibilidad de tiempo del cirujano especialista, un recurso escaso y limitado en la región. Como consecuencia, se requiere de una adecuada programación de médicos cirujanos para atender los requerimientos de demanda y mejorar el desempeño general del servicio.

Actualmente la programación de los quirófanos y las cirugías se realiza de forma manual, utilizando la regla de secuenciación FIFO (First In First Out) para determinar el orden de las cirugías a realizar en cada uno de los quirófanos. En el proceso, los cirujanos especialistas tienen gran dominio en la negociación, por lo que sus requerimientos son privilegiados durante la programación. Este procedimiento hace que, de manera recurrente, se presente subutilización de las salas y/o alta congestión de los quirófanos. Aunque la utilización promedio de las salas fue del 70%, se encontró que, derivado de causas relacionadas con la programación, se cancelaron el 7% de las cirugías programadas, lo que generó que los niveles de satisfacción de los pacientes con el servicio recibido estuviera por debajo del valor estándar establecido por la institución.

Con el propósito de mejorar la utilización de los recursos se propone el desarrollo de una herramienta computacional. La herramienta propuesta permite asignar las citas, definir la sala donde se debe operar cada paciente y el orden en el cual se deben realizar las cirugías, mediante el uso de reglas de despacho dinámicas fácilmente implementables, que se basan en indicadores derivados de la utilización histórica de los recursos. Para su desarrollo inicialmente se realizó un análisis de capacidad para determinar si los recursos disponibles eran suficientes. Este análisis se desarrolló a partir de la evaluación de indicadores como el total de minutos en uso de las salas de cirugía, tiempo ocioso de las enfermeras y anesthesiólogos como porcentaje del total de tiempo disponible para programación, entre otros (Ozcan, 2005). Para evaluar el desempeño de la herramienta computacional, se realizó una evaluación ex post facto en donde se compararon las utilidades obtenidas mediante las reglas de despacho, frente a la utilización real histórica.

#### **#45–Modelos para la programación de sistemas job shop flexibles en entornos Make to Order**

*Sebastian Ortiz Gaitan, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, sebastian.ortiz-g@mail.escuelaing.edu.co*  
*Carlos R. Ruiz Cruz, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, carlos.ruiz@escuelaing.edu.co*  
*Angélica Sarmiento Lepesqueur, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, angelica.sarmiento@escuelaing.edu.co*

Los sistemas de producción Job Shop (JSP) se caracterizan por que los trabajos a ser procesados tienen secuencias diferentes de producción en un conjunto de máquinas. Una de las variantes de este tipo de sistemas es el Job shop Flexible (FJSP), en el cual para realizar algunas de las operaciones se cuenta con más de una máquina. Los modelos FJSP deben tratar dos sub-problemas simultáneamente: ruteo de operaciones y secuenciación de operaciones. En la literatura la función objetivo de los modelos propuestos está generalmente asociada a la minimización del makespan. Este tipo de problemas, si bien pueden llegar a ser resueltos a través de métodos exactos, en problemas reales pueden ser demasiado complejos y los tiempos computacionales para llegar a una solución son muy altos, por lo cual es común el uso de diferentes métodos de aproximación.

Por otra parte la característica de la mayoría de los sistemas productivos en entornos Make to Order es que, debido a que las ordenes solo se generan una vez el cliente las realiza, comúnmente tienen asociado un tiempo de entrega (due date). Por esta razón se exploran modelos en los cuales los indicadores de desempeño, definidos como su función objetivo, están relacionados con el cumplimiento de los tiempos de entrega.

Se proponen diferentes formulaciones matemáticas con variables de posición de secuencia, variables de precedencia de trabajos y variables de indexación de tiempo. Así como con funciones objetivo definidas para minimizar la tardanza total, tardanza máxima y número de trabajos tardíos. Los supuestos bajo los cuales se desarrollan los modelos incluyen: al principio de la programación todas las máquinas están disponibles, una máquina puede procesar solo un trabajo a la vez, ningún trabajo puede iniciar una operación sin haber terminado la operación anterior o hasta que hayan máquinas disponibles para realizar dicha operación, no existen paradas de emergencia a lo largo del proceso una vez comenzada una operación en una máquina y las máquinas permanecen ocupadas hasta que terminan su trabajo.

Se propone una metaheurística para resolver uno de los modelos de minimización del número de trabajos tardíos y se aplica a un conjunto de instancias del problema de FJSP generadas de forma aleatoria propuestas en la literatura y se propone un método de generación aleatoria de los tiempos de entrega. Finalmente se analiza la competitividad del método de solución propuesto, la robustez de los resultados, los tiempos computacionales y la consistencia de las soluciones en casos reales.

#### **#46–Modelo para la coordinación de la cadena de suministro agrícola contemplando efectos ambientales: el caso de la industria piscícola**

*Nicolás Clavijo Buriticá, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, nicolas.clavijo@javerianacali.edu.co*  
*Delio Alexander Balcázar Camacho, Universidad Sergio Arboleda, Bogotá, delio.balcazar@usa.edu.co*

La coordinación de agentes en la cadena de suministro implica la articulación de los procesos de planeación, el intercambio de información y la asignación conjunta de recursos para lograr beneficios compartidos para las organizaciones que conforman la cadena. En el caso de la producción piscícola, la configuración de la cadena de suministro presenta estructuras asociativas que buscan el beneficio conjunto de los asociados en lugar de beneficios individuales. En el presente artículo se propone un modelo de programación matemática que atienda el problema de la coordinación de las actividades logísticas de la cadena, desde un enfoque estratégico y táctico, buscando beneficios económicos y ambientales aplicando conceptos de Gestión de la Cadena de Suministro Sustentable en los procesos de

siembra, engorde, procesamiento y distribución de pescado en el interior del país, contemplando la minimización de los costos totales de la cadena piscícola teniendo en cuenta la generación de residuos contaminantes y los beneficios generados al operar de manera coordinada.

**#47-Modelo de aprovisionamiento colaborativo para el sector turismo – Caso de estudio: Ruta Mutis en el Tolima**

*Juan Sebastian Pelaez Zuñiga, Universidad de Ibagué,  
juan.pelaez@unibague.edu.co*

*Helga Patricia Bermeo Andrade, Universidad de Ibagué,  
helga.bermeo@unibague.edu.co*

Este artículo propone un modelo de aprovisionamiento colaborativo en empresas turísticas, con el fin de obtener beneficios individuales y colectivos, aprovechando las economías de escala para la disminución de costos operacionales. La problemática radica en que algunos productos no se encuentran en la zona y son esenciales para la prestación del servicio, además de la variabilidad de la demanda presentada en el turismo. La estrategia de solución se soporta en el interés de los empresarios en obtener ahorros por medio de agrupación de pedidos y de proveedores dispuestos a ceder descuentos por cantidad con el fin de asegurar un mercado. Esta práctica que busca el rendimiento operativo es reconocida en la literatura como consorcio de compras, compras en conjunto y descuentos por cantidad (Essig, 2000; Liang, Ma, Xie, & Yan, 2014).

Pero más que la disposición, se debe tener en cuenta factores técnicos para que se dé la integración logística, por tanto los parámetros definidos son el peso y volumen de cada uno de los productos, restringiendo la capacidad del transporte. Para que los proveedores cedan descuentos de compra de productos, se requiere que siempre tengan una alta ocupación en los camiones para que el ahorro del costo de transporte, sea transferido a los compradores, habiendo ahorros equilibrados entre ambas partes, esto es lo que se conoce como relaciones gana-gana.

Para el diseño del modelo, se avanzó a partir de tres momentos. Primero: la caracterización de la demanda de insumos recurrentes como variable de entrada, en particular los insumos vinculados a restaurante y aseo. Segundo: la determinación de las restricciones logísticas y capacidades operativas del sistema operando bajo principios colaborativos, para dar lugar a las variables de salida del modelo: costos logísticos y costos de productos con descuento por cantidad. Tercero: validación del modelo propuesto mediante la simulación de Montecarlo (herramienta Crystal Ball), con el fin de responder si es rentable y factible que se lleve a cabo economías de escala por la compra en conjunto.

El trabajo empírico se desarrolló en restaurantes y hoteles de dos municipios de tradición turística del Tolima: Mariquita y Honda. Con el contraste de seis diferentes escenarios (diseño 2X3, esto es demanda baja y alta; frente a tres posibles zonas: Mariquita, Honda y Mariquita-Honda), los resultados obtenidos sugieren que solo algunos insumos son posibles de agregar en ambientes colaborativos y que la mejor opción y mayores economías de escala posibles, están dadas para el trabajo conjunto a nivel de zona, y en especial, para temporada alta.

**#48-Análisis Markovianos y modelos Bayesianos para optimizar procesos de producción mediante simulación**

*Rodrigo Barbosa, Universidad del Norte, Barranquilla,  
rbarbosa@uninorte.edu.co*

*Luis Echeverri, Universidad del Norte, Barranquilla*

El presente documento muestra los resultados obtenidos mediante simulación para dos casos de estudio que consideran la implementación de planes de muestreo óptimo (n, c) y CSP-2. Se hizo seguimiento al comportamiento de la variable de interés, costos totales de la operación (producción e inspección), asociados a la fabricación de lotes de productos de 10.000 y 100.000 unidades para cada caso. La Simulación es una de las herramientas de análisis más poderosas que disponen quienes se dedican al diseño y a la operación de procesos o sistemas complejos. Shannon señala que “La simulación es el proceso

de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema”. Desde este punto de vista, utilizar la simulación como una herramienta confiable, proporciona al tomador de decisiones un marco para el análisis de modelos en una amplia variedad de aplicaciones a través de la experimentación con estos para tomar decisiones acerca de los sistemas en los que prevalecen condiciones de incertidumbre.

En el desarrollo de este proyecto se estudian los conceptos básicos necesarios para el diseño de modelos de sistemas reales. Los dos modelos generados se utilizan para el análisis, la experimentación y la evaluación del comportamiento de un sistema de inspección y control de la calidad a través de la aplicación de teorías estadísticas, matemáticas y de programación relativas al área.

La realización de este proyecto permitió entre otros aspectos: formular y construir dos modelos lógicos o matemáticos (en los que se relacionan las técnicas de computación, la probabilidad y la estadística para su aplicación real). La naturaleza probabilística del modelo para analizar los costos generados por la implementación de un plan de muestreo (n, c), en el primer caso, y de un plan CSP-2 en el segundo caso de estudio hace imprescindible que el modelador busque que los resultados generados sean estadísticamente equivalentes al del sistema real.

En este orden de ideas, un factor que incide directamente en los resultados es el tamaño de la réplica de la simulación (número de corridas de simulación) para encontrar resultados confiables

**#49-A hybrid scatter search metaheuristic for the capacitated arc routing problem with refill points**

*Carlos Franco, Universidad Católica de Colombia, Bogotá,  
cafranco@ucatolica.edu.co*

*Eduyn Lopez, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogotá,  
erlopezs@udistrital.edu.co*

This work presents an approach based on a hybrid metaheuristic for the capacitated arc routing problem with refill points (CARP-RP). The vehicle servicing arcs must be refilled on the spot by using a second vehicle. The problem consists in simultaneously determining the vehicles routes that minimize the total cost. In the literature is proposed an integer linear programming model to solve the problem, so the problem can be solved on small instances due to its complexity. We propose a hybrid metaheuristic based on Scatter Search and Simulated Annealing, for improve the solution procedure we use a Iterated Local Search (ILS). Our method is tested with instances from the literature. We found best results in the objective function for the majority instances.

We propose a hybrid metaheuristic to solve the CARP-RP. Our proposal method is inspired in a scatter search (SS) procedure and involves an Iterated local search (ILS) procedure and a simulated annealing (SA) procedure. SS consists in two phases. The first phase creates an initial solution set; we take the representation of a solution proposed by Rego y Leao, they use a permutation P as a seed to generate subsequent permutations. The second phase is an iteratively procedure that operates on a set of reference solutions to generate new solutions by weighted linear combinations of structured subsets of solutions. This procedure looks to transform an initial solution into one or more enhanced solutions. We take the arcs of the solution between the refill is executed and then we consider the standard 2-opt procedure to find a 2-optimal tour for each individual segment of tour.

For all instances we use six iterations in order to prove our algorithm, we test our algorithm on 33 instances. We can observe that our algorithm find good solutions in multiple runs, in all the instances the average solutions are close to the best solution found by the algorithm, in fact in 9 instances the average solution is equal to the best solution found and on average there is a gap of 1.8% to the best solution. Due to we use the same number of iterations in all the runs, the algorithm spends 122.33 seconds on average for solving each instance.

**#51–Un problema de localización con máxima cobertura para la localización de ciclo parqueaderos públicos en la ciudad de Medellín**

*María Salomé Taboada, Universidad de Antioquia, Medellín,  
maria.taboada@udea.edu.co*

*Pablo Andrés Maya, Universidad de Antioquia, Medellín,  
pablo.maya@udea.edu.co*

La creciente concentración demográfica en las ciudades reta las estructuras urbanas a dar soluciones a los diferentes problemas que acontecen en ella de una manera sustentable. Fomentar una Movilidad Urbana Sostenible, hace parte de los retos de las urbes para contrarrestar un escenario caracterizado por un uso extensivo del territorio y una movilidad intensiva. Por lo que disminuir y regular la demanda de vehículos particulares es una de las estrategias adoptados por los gobiernos locales, para lo cual se han propuesto la mejora de los sistemas públicos de transporte y la promoción de la bicicleta como medio de transporte urbano. Dicha promoción significa pensar la ciudad de otra manera, es decir, se requieren nuevas formas de diseñar las vías y otras infraestructuras o servicios que conviertan la bicicleta en un medio de transporte atractivo y seguro para los ciudadanos.

Reconocido por otras ciudades e instituciones, los servicios asociados al parqueo de la bicicleta incentivan el uso de la misma, por lo que este trabajo pretende contribuir formulando una propuesta de localización de ciclo parqueaderos públicos para la ciudad de Medellín. Para lo cual se implementa un modelo de máxima cobertura, sujeto a la capacidad estimada de las instalaciones. El modelo tiene por objetivo maximizar la demanda cubierta por las localizaciones seleccionadas, entendiendo como demanda cubierta aquel viaje que tiene disponible al menos un ciclo parqueadero en un rango inicial de 400m. Se utiliza como datos de entrada los resultados de la Encuesta Origen y destino del Valle de Aburrá 2012. La instancia particular para Medellín consiste de 163 posibles zonas de localización, las cuales se identificaron a partir de condiciones topográficas y el porcentaje de viajes en bicicleta que las caracteriza.

Como variable de desempeño del modelo se utiliza la cobertura de la demanda, considerando las condiciones de capacidad de acuerdo a la estructura urbana de cada zona posible de ciclo parqueadero. El rango de cobertura de la instalación se utiliza también como una variable para caracterizar las variaciones sobre el número P de instalaciones a operar. El modelo se resuelve haciendo uso de un software comercial, y se presentan los resultados utilizando un software de ubicación geográfica que permite visualizar la ubicación de las instalaciones y las capacidades estimadas. De esta manera se espera, que la propuesta para la localización de los ciclo parqueaderos de paso al desarrollo e integración de servicios e infraestructura que faciliten el uso de la bicicleta dentro de la ciudad.

**#52–Elaboración de un modelo lineal para la asignación de horarios de clase**

*Juan Marín, Universidad de Antioquia, Medellín, cmarin930@gmail.com*

*Pablo Maya, Universidad de Antioquia, Medellín,  
pmayaduke@gmail.com*

La organización de horarios ha sido un proceso complejo que deben enfrentar las instituciones educativas, en las cuales los profesores, el ministerio de educación y la institución misma, establecen condiciones obligatorias de disponibilidad horaria o contenidos. Entre estas instituciones se encuentra la institución EDUCA2, un colegio de educación primaria y secundaria con dificultades en el establecimiento del horario anual. La metodología utilizada tradicionalmente para tal proceso no se basa en ningún principio matemático, concepto de orden o modelo abstracto que represente las condiciones y estructura de la situación problema, sino en el ensayo manual y aleatorio de diferentes configuraciones que permitan cumplir con los requisitos mínimos establecidos; como consecuencia, este proceso es dispendioso, demanda demasiado tiempo, y genera horarios que no cumplen con las condiciones ideales para alumnos y docentes.

Por ello, el actual proyecto se enfoca en el establecimiento de un modelo lineal que permita a la institución EDUCA crear de forma

eficiente sus horarios de clase, disminuyendo el tiempo del proceso y asegurando el cumplimiento de todas las condiciones establecidas por la institución y los docentes.

Para tal efecto, se ha elaborado un modelo de programación lineal que permita asignar las materias en cada uno de los grupos de la institución, asegurando el cumplimiento de todas las restricciones establecidas, al tiempo que se obtiene en la distribución resultante la mayor cantidad de bloques posibles de forma conjunta para todas las materias, considerando como un bloque la asignación de dos horas consecutivas de la misma materia en el mismo grupo. Ahora bien, algunas de las condiciones fundamentales tenidas en cuenta para el modelo planteado son las restricciones de intensidad horaria que asignan a cada grupo el número de horas exigidas en cada materia; además se incluyeron restricciones de incompatibilidad horaria o espacial para no asignar una materia o un docente en varios grupos a la misma hora y día. Por otro lado, se ha evaluado el modelo lineal propuesto elaborando diferentes escenarios donde la cantidad de grupos, materias y restricciones temporales han aumentado, de modo que fuese posible evaluar la robustez del modelo ante situaciones de igual naturaleza pero mayor tamaño.

En los escenarios evaluados se obtuvieron configuraciones con la mayor cantidad de bloques posible o valores muy cercanos a ésta, además el tiempo de solución del modelo ha tomado sólo minutos permitiendo el incremento en la eficiencia de la organización del horario. Con lo anterior se ha concluido que el modelo es adecuado para la configuración de distintos horarios académicos maximizando la cantidad de bloques por materia en cada grupo, y se ha mejorado el proceso de organización académica en la institución EDUCA.

**#53–Optimización del abastecimiento de combustible a una red de estaciones de servicio**

*Juan Esteban Calle Salazar, TDM Transportes, juanescasa@gmail.com*

*Daniel Camilo Rojas Arcila, Universidad Nacional de Colombia,  
dcrojasa@unal.edu.co*

*David Felipe Higueta Alzate, Universidad Nacional de Colombia,  
dfhiguetaa@unal.edu.co*

*Luis Fernando Moreno Velasquez, Universidad Nacional de Colombia,  
lfmoreno@unal.edu.co*

Las herramientas analíticas para apoyar los procesos de distribución de combustible a una red de estaciones de servicio han sido implementadas desde principio de la década de los 80. Los enfoques para optimizar el proceso parten del hecho que cada estación de servicio envía las órdenes de compra al proveedor y a partir de dichos pedidos el proveedor se encarga de programar la recolección de los productos en las plantas de abastecimiento y la entrega en las estaciones de servicio. La tecnología de hoy en día nos permite estudiar el problema de realizar órdenes de pedido y de programar su distribución de una manera integrada, lo anterior se conoce en la literatura de investigación de operaciones como el problema de inventario ruteo. Con este trabajo se presenta un modelo integrado que apoya la toma de decisiones de qué, cuándo y cuánto entregar de cada producto a un conjunto de estaciones de servicio, además de la forma en que cada uno de los vehículos debe cargar y entregar los productos en las estaciones de servicio. Además de las características mencionadas, el modelo incorpora al problema de distribución las ventanas de tiempo de atención en los diferentes nodos de la red de transporte. Lo que lo convierte en un modelo de manejo de tiempo mixto. Ya que incorpora un manejo de tiempo discreto y continuo. El registro de los cambios de inventario en las estaciones de servicio se lleva a cabo al final de cada periodo, tiempo discreto; mientras que el registro de las llegadas de los vehículos a los diferentes nodos se lleva en cada instante de tiempo, tiempo continuo. Adicionalmente en el problema se combina la problemática de distribución nacional y de distribución urbana. La distribución urbana lleva a considerar que en el mismo periodo se pueda visitar más de una vez la planta de abastecimiento (recirculación), mientras que la distribución nacional hace que dentro de un viaje se programen también los lugares y el tiempo donde el conductor debe descansar.

Para la solución del problema se desarrollaron dos modelos similares que fueron implementados en AIMMS y solucionados con Gurobi 6.0. Para cada modelo se compara la solución de cada uno teniendo en cuenta la presencia o no de restricciones subrogadas y la priorización o no de variables en el algoritmo de ramificación y acotamiento. Además se implementó un procedimiento heurístico de reducción de dominio que lo que hace es no permitir ir de una estación de servicio a otra cuando la distancia entre ambas es mayor que cierto parámetro.

#### #54–Ubicación óptima de puntos de carga para redes de vehículos eléctricos

*David Escobar Vargas, Universidad Tecnológica de Pereira,  
davesco24@gmail.com*

*Laura M. Escobar Vargas, UNESP, Brasil, lauramonicaesva@gmail.com*  
*Ramón A. Gallego Rendón, Universidad Tecnológica de Pereira,  
ragr@utp.edu.co*

En este trabajo se presenta una metodología para resolver el problema de ruteo y localización de puntos de recarga de vehículos eléctricos (PR-LR-VE), el cual tiene como propósito determinar la localización de estaciones o puntos de recarga (LR) para vehículos eléctricos (VE) y la determinación de las rutas que debe seguir una flota de vehículos (PR) que debe atender la demanda de un número determinado de clientes. Este problema es similar al problema tradicional de ruteo de vehículos capacitado (CVRP) y adiciona la condición de limitación de la distancia que puede recorrer cada vehículo por restricciones de la carga eléctrica de las baterías. El problema formulado pertenece a la categoría de programación lineal entera y por su complejidad hace parte de los denominados problemas NP-completos. Se usa un algoritmo implementado en C++ que utiliza el solver CPLEX. Se analizan y se resuelven varias instancias de prueba y se comparan los resultados obtenidos cuando se consideran o no puntos de recarga.

La metodología implementada permite obtener muy buenas soluciones para los problemas analizados. El modelo propuesto permite incluir fácilmente aspectos asociados con la maximización del uso de la carga eléctrica de los vehículos al considerar que los clientes con demandas más grandes sean atendidos primero. También puede medirse el impacto ambiental de usar vehículos eléctricos en lugar de vehículos con combustibles fósiles para atender las mismas demandas. El problema puede adaptarse fácilmente para considerar el tiempo de atención de los clientes ya que la recarga eléctrica puede ser rápida o lenta, o puede ser parcial o total. También es posible considerar el intercambio de baterías descargadas por baterías cargadas.

#### #55–Análisis de la capacidad del proceso de beneficio de porcinos en Envicárnicos E.I.C.E a través de la simulación de eventos discretos

*Jonathan Antonio Hoyos Chaverra, Universidad de Antioquia,  
jahoyosch@udea.edu.co*

*Natalia Quintero Avellaneda, Universidad de Antioquia, Medellín,  
natalia.quintero@udea.edu.co*

*Brigitte Roldán Ramírez, Universidad de Antioquia, Medellín,  
brigitte.rolan@udea.edu.co*

*Natalia Suárez Terán, Universidad de Antioquia, Medellín,  
gabriela.suarez@udea.edu.co*

Envicárnicos E.I.C.E es una planta de beneficio de bovinos y porcinos ubicada en el municipio Envigado, Antioquia; como sistema complejo su dinámica puede ser estudiada con la técnica de simulación. El objetivo del trabajo es comprender la dinámica del sistema productivo de beneficio de porcinos y medir su capacidad usando un modelo a través de la simulación de eventos discretos. La metodología del trabajo se basó en los pasos de un estudio de simulación definidos por Banks, Carson, Nelson, & Nicol (2005) comprendiendo: la elaboración de modelo conceptual, verificación y validación del modelo, diseño y aplicación de experimentos.

El modelo formal se realizó en el software Simul8, el cual se verificó con tres pruebas: condiciones iniciales, independencia de la semilla y condiciones extremas, encontrando que el modelo formal corresponde a lo planteado en el modelo conceptual y que su estructura es correcta.

También se realizaron tres pruebas de validación que corresponden a juicio de expertos, comparación de resultados de salida del modelo con los del sistema real y el test de turing, con estas se comprobó que los resultados de la simulación son representativos del sistema real.

Con un modelo válido, se realizó un análisis de sensibilidad, en donde se verificaron las salidas del modelo en escenarios del sistema para comprobar el impacto de manipular las variables relevantes, concluyendo que el proceso no es sensible ante variaciones de demanda y que el sistema actual requiere en promedio una hora de jornada adicional (9 horas) para procesar por completo la demanda diaria.

Adicionalmente, en congruencia con las expectativas de crecimiento productivo manifestadas por Envicárnicos E.I.C.E, se realizó un diseño experimental donde se simularon tres escenarios, que buscaban: comprobar si la capacidad de la zona de recepción de porcinos es un factor limitante, valorar la capacidad del sistema ante el crecimiento de la demanda y evaluar el impacto de ampliación de la zona de almacenaje frío. Los resultados obtenidos del primer escenario, donde se generó un aumento en capacidad de recepción de porcinos del 50%, mostraron que el promedio de porcinos despachados sin refrigeración aumentaría en promedio 20.7%. En el escenario dos en donde se simuló la captación de mayor mercado (sin realizar ajustes del proceso productivo), se encontró que es posible aumentar un 16.4% los porcinos despachados sin refrigeración, sin embargo el modelo está limitado por la capacidad de recepción, lo que impide satisfacer el total de porcinos demandados. Por último, el escenario tres al aumentar la capacidad en la zona de almacenaje en frío un 40%, se observó que el incremento de los porcinos despachados con refrigeración corresponde en promedio al 1%.

Con el estudio de simulación se pudo concluir que el proceso productivo de Envicárnicos E.I.C.E cuenta con capacidad suficiente, bajo la demanda que atiende actualmente, sin embargo en caso de querer expandirse en el mercado, la empresa no cuenta con la capacidad necesaria de recepción, por ello se debería tener en cuenta el aumento de capacidad en esta zona, la cual en la actualidad es: 700 porcinos.

#### #56–Modelo de gestión de inventarios de medicamentos para un sistema de atención pre-hospitalaria

*Viviana Carvajal, Universidad de Antioquia, Medellín,  
vivianacarvajalhernandez@gmail.com*

*Pablo Maya, Universidad de Antioquia, Medellín,  
pablo.maya@udea.edu.co*

*Gloria Osorno, Universidad de Antioquia, Medellín,  
gloria.osorno@udea.edu.co*

Los sistemas de atención prehospitalaria, utilizan medicamentos dentro de su funcionamiento y no son ajenos a la complejidad que conlleva la administración de inventarios de los mismos. Con el fin de administrar y controlar medicamentos en sistemas de atención prehospitalaria, se propone diseñar un modelo de gestión inventarios, que tenga por objeto reducir los costos del sistema y que considere como parte de las entradas del modelo una clasificación multi-criterio. Para lograr este objetivo, se contó con un SEM (sistema de emergencia médica) como sistema referencia, el cual presta un servicio médico asistencial de tipo domiciliario con características pre-hospitalarias en la ciudad de Medellín.

Inicialmente se llevó a cabo una revisión de la literatura, que contiene los elementos básicos de los modelos de gestión de PP (productos perecederos), modelos y metodologías para gestionar PP y metodologías para realizar clasificación multicriterio en inventarios. Posteriormente se estudió el SEM a través de trabajo de campo. Allí se identificaron y diagramaron en Bizagi process modeler, los procesos, en los cuales ocurre el abastecimiento y consumo de los medicamentos. A partir de la revisión de la literatura, el estudio del SEM y un análisis de los consumos de medicamentos, se definió que para este modelo de gestión de inventarios, se considerarían como entradas una demanda determinística, un tiempo de reposición igual a cero y una clasificación multicriterio de medicamentos [1] [2] [3].

La clasificación multicriterio, separa en tres grupos los medicamentos del sistema de acuerdo a seis criterios. Esta clasificación fue realizada en tres etapas. Inicialmente se seleccionaron y determinaron los pesos de los criterios. Estos se determinaron con base en la revisión de la literatura y fueron adaptados al sistema. La determinación de los pesos, se realizó con el proceso analítico jerárquico-AHP. La segunda etapa, consistió en estandarizar los datos de los medicamentos en el inventario, los cuales fueron ponderados con los pesos de los criterios obteniendo una medida comparable sin unidades. La tercera etapa consistió en definir las pautas bajo las cuales un artículo es clasificado en un grupo o en otro.

Con base en estos resultados, se planea definir políticas de gestión y control de inventarios para un sistema de atención prehospitalario, que permitan administrar medicamentos, reduciendo los costos y teniendo en cuenta el nivel de servicio definido por el sistema.

#### **#57-Modelos matemáticos y algoritmos heurísticos para solucionar el k-TRP**

Juan Carlos Rivera, Universidad EAFIT, Medellín, [jrivera6@eafit.edu.co](mailto:jrivera6@eafit.edu.co)  
Francisco González, Universidad EAFIT, Medellín, [fgonzal6@eafit.edu.co](mailto:fgonzal6@eafit.edu.co)

El TRP o Traveling Repairman Problem es una variante del problema del agente viajero (TSP), en la cual el objetivo es encontrar un ciclo hamiltoniano o un tour sobre un grafo que minimice la suma de los tiempos de llegada a cada nodo. Este problema también es conocido como Minimum Latency Problem (MLP), Delivery Man Problem (DMP) o Travelling Salesman Problem with Cumulative Cost. El k-TRP es una generalización del problema en la que se deben determinar k tours que visiten los diferentes nodos en el grafo. Otros problemas relacionados son el Time-Dependent Traveling Salesman Problem (TDTSP) en el cual el costo para recorrer un arco depende de su posición en el tour, y el Cumulative Capacitated Vehicle Routing Problem (CCVRP) en el cual un conjunto de vehículos con capacidad limitada deben visitar los nodos del grafo.

El k-TRP puede ser definido sobre un grafo completo  $G=(V,A)$ . El conjunto de nodos  $V=\{0,\dots,n\}$  incluye un depósito (0) y un subconjunto de n nodos a visitar distribuidos geográficamente. El conjunto de arcos A está compuesto por los arcos (i,j) con tiempos de viaje  $w(i,j)$ . Cada nodo tiene un peso  $q(i)$ . El objetivo es identificar k tours de modo que cada nodo sea visitado exactamente una vez y la suma ponderada de los tiempos de llegada sea minimizada.

En este trabajo se estudian y proponen diferentes modelos matemáticos y se desarrolla un algoritmo metaheurístico basado en Búsqueda Local Evolutiva o ELS (Evolutionary Local Search) para solucionar la versión del k-TRP en la cual la función objetivo es la suma ponderada de los tiempos de llegada. Esta función objetivo es importante por sus aplicaciones en logística humanitaria donde se debe cubrir rápidamente la región afectada por un desastre humanitario, para estudiar componentes del costo de transporte relativos al consumo de combustible y mantenimiento, y en problemas de distribución de bienes en los cuales se considera el servicio al cliente como un objetivo importante.

ELS es un metaheurístico que generaliza la Búsqueda Local Iterada o ILS (Iterated Local Search), generando múltiples perturbaciones o hijos en lugar de una en cada iteración. En nuestra implementación se adaptan algunos de los vecindarios clásicos para problemas de ruteo de vehículos para esta nueva función objetivo. Es importante notar que la función objetivo estudiada complica la evaluación de los movimientos de búsqueda local. Por ejemplo, el costo de una ruta cambia cuando se invierte la dirección de recorrido de la misma, o la inserción de un nodo en una ruta incrementa los tiempos de llegada de todos los nodos posteriores en la ruta.

Diferentes experimentos computacionales son realizados para evaluar el desempeño de los modelos y métodos desarrollados, utilizando instancias clásicas de la literatura para el VRP y TRP. Los resultados permiten comprobar la eficiencia de los métodos desarrollados tanto para el k-TRP como para el caso especial de un único tour, TRP.

#### **#58-Algoritmo basado en relajación Lagrangeana para resolver el problema de lotificación en sistemas multinivel en entornos de coproducción y listas de materiales alternativas**

Alvaro Roca Molina, Mexichem Resinas Colombia S.A.S, [arocam@mexichem.com](mailto:arocam@mexichem.com)  
Jairo R. Coronado-Hernandez, Jaracohe S.A.S, [jairo.coronado@jaracohe.com](mailto:jairo.coronado@jaracohe.com)

En este trabajo se presenta un algoritmo para obtener una cota inferior del problema de lotificación en sistemas multinivel en entornos de coproducción y listas de materiales alternativas basado en relajación lagrangeana. Este problema es semejante a la optimización de un MRP con listas de materiales alternativas, con múltiples recursos en entornos de coproducción y múltiples periodos de tiempo considerando restricciones de lead time y capacidad de producción. Para la obtención de los multiplicadores de Lagrange que penalizan la función de objetivo se obtienen a través del algoritmo de optimización del subgradiente. La implementación se realizó en el IDE de desarrollo GAMS. La calibración de los parámetros del algoritmo se realizó utilizando la metodología de superficie de respuesta. La validación del algoritmo propuesto se realiza por medio de un análisis comparativo aplicado en dos casos reales. El primer caso trata de una empresa fabricante de partes en el sector del automóvil y el segundo caso trata de una empresa de fertilizantes.

#### **#59-Caso de aplicación de herramientas de investigación de operaciones en la calidad de la educación superior**

Juan Niño, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, [juan.sn17@hotmail.com](mailto:juan.sn17@hotmail.com)  
Sebastian Meza, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, [sebastian.meza@mail.escuelaing.edu.co](mailto:sebastian.meza@mail.escuelaing.edu.co)  
Carolina Castro, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, [carolina.castro@mail.escuelaing.edu.co](mailto:carolina.castro@mail.escuelaing.edu.co)  
Joan Gordillo, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, [joan.gordillo@mail.escuelaing.edu.co](mailto:joan.gordillo@mail.escuelaing.edu.co)

La mejora de la calidad de la educación y el óptimo uso de la infraestructura educativa han sido temáticas de interés para la investigación de operaciones. En este trabajo se estudia el caso del programa de Ingeniería Industrial de la "Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito". Los resultados permiten comprender y analizar en el tiempo, la demanda y la capacidad del sistema educativo; al plantear un escenario donde el mejor uso de los recursos se refleja en la programación de clases para un periodo académico. Dado el elevado número de elementos que interactúan en el sistema y su consecuente complejidad, se propone un enfoque de solución de dos fases: para la caracterización del flujo de estudiantes y la oferta de asignaturas, se usó dinámica de sistemas (DS). Posteriormente para el pronóstico de demanda, obtenido en la fase uno, se propone una programación de horarios utilizando un modelo de programación lineal entera (IP) que contempla el mejor uso de los recursos de la institución al mínimo costo posible. Los modelos de DS y IP se validaron con datos históricos de 2009 a 2014.

#### **#60-Comparación de procesos de mezclado de caucho natural mediante el análisis de varianza de las propiedades reométricas: un aporte a la industria Colombiana**

Mateo Gomez, Universidad de Antioquia, Medellín, [mateogomez@gmail.com](mailto:mateogomez@gmail.com)  
Daniel Corrales, Universidad de Antioquia, Medellín, [danielalejandro1611@gmail.com](mailto:danielalejandro1611@gmail.com)  
Diego Rondon, Universidad de Antioquia, Medellín, [diego.rondon@udea.edu.co](mailto:diego.rondon@udea.edu.co)  
Diego Giraldo, Universidad de Antioquia, Medellín, [dhgiraldo@gmail.com](mailto:dhgiraldo@gmail.com)  
Carmen Patiño, Universidad de Antioquia, Medellín, [elena.patino@udea.edu.co](mailto:elena.patino@udea.edu.co)

El proceso de fabricación de artículos en caucho consta resumidamente de la selección de los ingredientes según las propiedades deseadas para el producto, luego el pesaje y mezclado de los componentes

buscando una adecuada distribución y dispersión de los aditivos en la matriz, y finalmente de la vulcanización. Las fuentes de variación asociadas al proceso de mezclado son numerosas, debido a que se emplean ingredientes de distinta naturaleza química, viscosidad y comportamiento con la temperatura, lo que sumado a las variables de proceso como apertura de rodillos, el orden en que se incorporan los ingredientes y la duración de cada etapa de mezclado hacen que las propiedades del compuesto vulcanizado no correspondan a las esperadas, o varíen más de lo que es aceptable según las especificaciones del proceso. En el caso de mezclas con caucho natural, hay que considerar además que por tratarse de un producto vegetal las propiedades del material son afectadas también por variables fisiológicas, climáticas y las técnicas de cultivo, así como los métodos de almacenamiento y transporte.

Se ha encontrada una alta variabilidad entre parámetros reométricos de unidades experimentales tomadas de una misma mezcla de caucho natural, problemática especialmente sensible en países como Colombia donde la cadena productiva de este material se caracteriza por un alto componente empírico. Además, las normas existentes para el control de materias primas, procesos y productos en caucho natural recomiendan varios procedimientos pero dejan varios parámetros de proceso sin definir; ensayos preliminares demuestran que algunas variables de proceso (componentes de mezclado, apertura y velocidad de rodillos, tiempo de almacenamiento, temperatura de vulcanización, tiempo de proceso), parecen incidir de manera más significativa que otras en las propiedades reométricas de mezclas que emplean caucho natural.

El desarrollo de modelos estadísticos que reduzcan la variabilidad y optimicen las variables permitirían mejorar la calidad de las mezclas de caucho natural, generando mejores condiciones de competitividad para la industria colombiana. Este trabajo aborda el problema con una metodología estructurada y sistemática para determinar los factores que minimizan la variabilidad de las variables reométricas en mezclas de caucho natural sin negro de humo. A partir de los resultados obtenidos en esta fase y del análisis del proceso industrial, se propone un método de mezclado que cumpla con la norma ASTM D3184 y que incluya procedimientos habitualmente usados en la industria del caucho. Posteriormente se compara el desempeño del método propuesto en pequeña y gran escala, a través de un diseño de experimentos.

#### **#61-Modelo matemático multi-objetivo para la gestión de la cadena de suministro de biodiesel de palma en Colombia**

*Johan Aranda, Universidad Católica de Colombia,  
jaaranda@ucatolica.edu.co*

*Javier Orjuela, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá,  
jaorjuelac@unal.edu.co*

Los biocombustibles son hoy en día sustitutos parciales del combustible fósil y su producción ha tenido un crecimiento constante durante los últimos años. Este crecimiento ha sido impulsado principalmente por las ventajas ambientales que podrían traer en comparación con el combustible fósil. En Colombia se espera un crecimiento en la producción de biocombustibles en el corto, mediano y largo plazo, lo que representa una oportunidad de desarrollo económico en este campo. Sin embargo, a pesar los beneficios de los biocombustibles, existen preocupaciones por los impactos ambientales y sociales que pueden generar su producción y distribución.

La optimización multi-objetivo se ha utilizado en los últimos años como marco para integrar objetivos ambientales, económicos y sociales en la toma de decisiones en las cadenas de suministro de biocombustibles. No obstante, la revisión del estado del arte muestra que no se ha prestado suficiente atención en dos de los problemas más importantes asociados a este tipo de cadenas: las emisiones de dióxido de carbono por cambio indirecto del uso del suelo y el impacto potencial a la seguridad alimentaria.

El modelo presentado es un modelo de programación lineal multi-objetivo para la toma de decisiones estratégicas asociadas a la producción de biodiesel a partir de aceite de palma en Colombia. El

modelo optimiza simultáneamente el costo total de la cadena, el impacto en la seguridad alimentaria y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), incluidas las emisiones por cambio directo e indirecto del uso del suelo. El modelo considera cuatro etapas de la cadena de suministro en Colombia (la siembra, la extracción, la biorrefinería y mezcla) y permite el establecimiento de un plan de producción, distribución en inventario de palma, aceite y biodiesel a lo largo de la cadena. Adicionalmente se aplica la técnica Restricción Épsilon para obtener las Fronteras de Pareto que permiten observar la relación entre los diferentes objetivos evaluados.

A diferencia de los modelos encontrados en la revisión de la literatura, el modelo propuesto considera la variación de los rendimientos de los cultivos a lo largo de su vida útil, permitiendo definir un plan de siembras de palma que cumpla con los niveles de producción de palma requeridos. Otra diferencia es la consideración de diferentes tipos de suelo donde se puede sembrar palma (cultivos agrícolas, suelos de pastoreo, pastos sin manejo, bosque y palma), lo cual permite calcular el costo, impacto a la seguridad alimentaria y emisiones GEI en función del tipo de suelo utilizado, incluyendo las emisiones por cambio indirecto del uso del suelo.

La aplicación del modelo matemático permitió mostrar la relación existente entre los tres objetivos evaluados. Así mismo permitió la identificación de escenarios y formulación estrategias para la cadena productiva de biodiesel de palma en Colombia que son responsables con el ambiente y la seguridad alimentaria. Como estrategia se propone un plan de producción, distribución e inventario de palma, aceite y biodiesel que permite reducir en un 21.5% la emisión de GEI, en comparación con el uso de diesel fósil, sin afectar la seguridad alimentaria.

#### **#62-EPISO para solucionar el problema conjunto de localización de instalaciones y ruteo de vehículos**

*Juliana Niño Vargas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
juliana.ing.ind@gmail.com*

*Henry Lamos Díaz, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
hmos@uis.edu.co*

*Carlos Díaz Bohorquez, Universidad Industrial de Santander,  
Bucaramanga, cediazbo@uis.edu.co*

Este trabajo de investigación propone un algoritmo que integra la metaheurística de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO) con operadores evolutivos, para solucionar el Problema de Localización de Instalaciones y Ruteo de Vehículos (LRP por sus siglas en inglés, Location Routing Problem). El LRP minimiza el costo total, que corresponde a la suma del costo fijo de instalación de los Centros de Distribución (CEDI) y el costo variable de distribución que depende de las rutas de los vehículos. El algoritmo inicia determinando la ubicación de los CEDI de acuerdo al número de instalaciones a ubicar previamente establecido; posteriormente, asigna cada cliente al CEDI más cercano, para finalizar con la construcción de la ruta a priori y su respectivo proceso de mejoramiento. Para mejorar la solución, se utilizan operadores evolutivos de cruce (intercambios de información intra-rutas y con el GBEST) y mutación de CEDIS con una probabilidad asociada. El problema se validó para el caso real y determinístico, en tres escenarios de una empresa comercializadora de rollos de tela en Colombia, y contempla la posibilidad de mezclar una flota de vehículos propia y transporte tercerizado. Los escenarios propuestos obedecen a la necesidad de analizar el comportamiento del algoritmo en problemas de diferente tamaño (diferente número de nodos cliente). Para la validación se programó el algoritmo en MATLAB. Actualmente, y con el propósito de acercar el problema aún más a la realidad de las empresas, se está analizando e implementando en MATLAB, la variante del LRP que contempla la demanda como una variable aleatoria o estocástica (Stochastic Location Routing Problem, SLRP).

### #63–Dos soluciones al problema de la saturación de urgencias en Medellín

Juan Sebastián Jaén Posada, Universidad de Antioquia, Medellín,  
jjaen@udea.edu.co  
Paula Andrea Velásquez R, IPS Universitaria, Medellín,  
paulavelasquezr@gmail.com

El servicio de urgencias es la puerta de entrada de muchos de los pacientes que demandan los servicios de salud en la ciudad de Medellín. Por este motivo, este servicio ha presentado unos niveles de saturación que comprometen la salud y dignidad del paciente, así como la validez del servicio y de todo el sistema de salud. Muchas de las causas atribuidas a tal saturación se le atribuyen a la relación del hospital con la EPS, además del abuso de los pacientes por demandar una atención gratuita y rápida. Este trabajo presenta dos soluciones que se han planteado para resolver la saturación del servicio de urgencias reconociendo al hospital como uno de los principales responsables. El trabajo encuentra que el problema de saturación en las urgencias se debe principalmente a la baja capacidad del hospital para generar altas y así ofrecer camas al servicio de urgencias. La primera solución utiliza la simulación bajo dinámica de sistemas para mostrar el impacto que las altas que el hospital tendría en la descongestión de urgencias. Una segunda solución se presenta cuando el hospital aun conociendo su responsabilidad, no está en capacidad de generar altas. En esta, el servicio de urgencias tiene que ser más selectivo en la admisión de los pacientes permitiendo el acceso solo a los pacientes realmente graves. Esta segunda alternativa también se presenta con la ayuda de una simulación bajo dinámica de sistemas. En conclusión el trabajo muestra la pertinencia de la simulación como herramienta para sintetizar el problema y sugerir política en el sector salud.

### #64–Estudio computacional del problema de empaquetamiento óptimo tridimensional con restricciones de carga fraccionada en múltiples destinos

David Alvarez Martinez, La Salle University, akavallo@gmail.com

El problema de carga de contenedores es un problema clásico en la investigación operativa y de gran importancia y aplicabilidad en la industria, a pesar de esto no es común que la comunidad académica incorpore en sus estudios gran cantidad de las características importantes que representan situaciones prácticas de estos problemas, como lo son: orientación de las cajas, límites de apilamiento de las cajas, límite de peso de la carga, estabilidad de la carga y carga fraccionada en múltiples destinos (multi-drop).

Formalmente, este problema es denominado como Problema de Carga del Contenedor con restricciones multi-drop, este consiste en maximizar el volumen total ocupado de la carga empacada, de tal forma que, se cumplan las restricciones de empaquetamiento y de multi-drop, la cual impone que las cajas que alcanzan su destino final deben descargarse sin reorganizar la carga que aún debe permanecer.

El problema de carga de contenedores con restricciones multi-drop y la idea de incluir el mayor número de restricciones reales ha sido un estudio motivado por la revisión del estado del arte. Existen tres diferentes tratamientos de la restricción de multi-drop en la literatura: a) se imponen restricciones de ubicación de la carga basados en las definiciones de invisibilidad e inalcanzabilidad de las cajas empacadas, b) son impuestas restricciones de ubicación definiendo una frontera imaginaria (a lo largo del contenedor) que separa las cargas empacadas de cada cliente, generando así una especie de cortina o pared virtual y c) se imponen restricciones al momento de descargar las cajas de un cliente donde deberá existir un corredor libre entre la caja y la puerta del contenedor, además, ninguna caja de un cliente que aún no ha sido descargado deberá estar sobre esta.

La primera parte de este trabajo consiste en presentar un algoritmo GRASP reactivo que logra mejorar el comportamiento de los demás propuestos para este problema en la literatura. Este algoritmo consta de una fase que construye soluciones factibles satisfaciendo las restricciones y una fase de búsqueda local que consiste en un conjunto

de movimientos de mejoras: apilar, esparcir y compactar soluciones por destino de la carga.

La segunda parte de este artículo consiste en un estudio computacional utilizando los diferentes benchmark y problemas reales presentados en la literatura, este consiste en aplicar las tres diferentes definiciones de multi-drop sobre los casos de estudio. En particular en este estudio se concluye que la definición de corredor libre es la que presenta menos rigidez permitiendo alcanzar mejores patrones de empaquetamiento, esta conclusión esclarece porque la comunidad científica que trabaja los problemas de transporte elige la definición de corredor libre cuando desea integrar el problema de ruteo y carga de vehículos. Resolver variantes del problema de carga de contenedores involucrando restricciones y condiciones reales representa un alto grado de dificultad no solo por la complejidad innata de los problemas de empaquetamiento sino también debido a las diferentes interpretaciones que cada autor basado en su pericia da a las características del problema.

### #67–Solución del problema de diseño de red continuo (CNDP) mediante la metaheurística evolución diferencial (GMED)

Yulayth Vega, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
yvegaprada@outlook.com  
Diana Sanabria, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
sanabria.dianac@gmail.com  
Henry Lamos, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
hlamos@uis.edu.co  
Javier Arias, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
jearias@uis.edu.co

Los problemas de diseño de redes de transporte (TNDP), generalmente son formulados en el marco de la programación binivel, debido a que, comúnmente en estos, intervienen dos tomadores de decisiones, los planificadores de la red y los usuarios de la misma, interrelacionados entre sí y cada uno afectando la decisión del otro. Dependiendo de la naturaleza de las decisiones consideradas, los TNDP se clasifican en tres grupos, que son: 1. El problema de diseño de red discreto (DNDP), 2. El problema de diseño de red continuo (CNDP) y 3. El problema de diseño de red mixto (MNDP). En este trabajo, se propone resolver el CNDP que determina la ampliación de la capacidad óptima de la infraestructura (segmentos de carretera) existente en una red, de acuerdo con el enfoque desarrollado por ANGELO, Jaqueline S.; KREMPSE, Eduardo y BARBOSA, Helio, para resolver problemas binivel. El enfoque está basado en la Evolución Diferencial (ED), metaheurística utilizada para la optimización de problemas no lineales y no diferenciables en espacios continuos. El algoritmo planteado por los autores mencionados anteriormente, fue implementado en MATLAB. Sin embargo, su funcionamiento en problemas binivel sencillos, resultó ser costoso en términos computacionales, a causa de solucionar el nivel inferior utilizando también ED. Lo anterior motivó a realizar la interfaz del programa con la herramienta de modelado GAMS (General Algebraic Modeling System), haciendo uso del intercambio de archivos GDX (Gams Data Exchange) para resolver el nivel inferior con este software. Algunos ejemplos numéricos del CNDP, se solucionaron a través del método propuesto (llamado GMED) y sus resultados fueron comparados con los obtenidos mediante otros algoritmos, encontrándose que el GMED arroja buenas soluciones. El trabajo a presentar tiene varios propósitos, en primer lugar, brindar un framework de la programación binivel, en segundo lugar, exponer el CNDP, en tercer lugar, describir la metaheurística ED y aplicarla al CNDP realizando un intercambio de datos con la herramienta de modelado GAMS para la solución del nivel inferior.

**#68-Simulación de eventos discretos en sistemas BRT: Caso TransMilenio**

*Miguel Roberto Campos Murcia, Universidad de los Andes, Bogotá, mr.campos565@uniandes.edu.co*  
*Juan Pablo Álvarez Arias, Universidad de los Andes, Bogotá, jp.alvarez43@uniandes.edu.co*

Recientemente, los sistemas BRT (Bus Rapid Transit) han sido implementados a nivel global como una alternativa de transporte eficiente y de bajo costo. Un supuesto común en los estudios de este tipo de sistemas ha sido que los usuarios conocen y eligen siempre la ruta más corta para llegar a su destino sin tener en cuenta otros factores de decisión. Dado lo anterior, este escrito cuenta con dos objetivos principales. El primer objetivo es modelar las interacciones en el interior de una estación de un sistema BRT. En estas interacciones se ve reflejado el proceso de toma de decisión de un usuario para la elección de su plan de viaje por medio de una función de costo que considera variables como la utilización promedio o el tiempo que falta para que llegue un bus a la estación entre otras. El segundo objetivo es incorporar un componente estocástico en datos de entrada como lo son las tasas de arribos de usuarios al sistema o la matriz origen destino. Usando la lógica anterior es posible construir un modelo del sistema completo y así, contar con una herramienta que permita probar instancias de otros modelos y analizar medidas de desempeño incorporando el comportamiento estocástico de las entidades en el sistema.

**#69-Meta-heurística para el problema de asignación de turnos de enfermería**

*Nicolás Giedelman Lasprilla, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, nsgiedelman@gmail.com*  
*Angélica Sarmiento Lepesqueur, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, angelica.sarmiento@escuelaing.edu.co*  
*Carlos Rodrigo Ruiz Cruz, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, carlosr.ruiz@escuelaing.edu.co*  
*William J. Guerrero, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá, william.guerrero@escuelaing.edu.co*

El problema de asignación de turnos de enfermería ha sido ampliamente tratado en la literatura científica, pero pocos modelos logran ser implementados en la práctica por los diferentes supuestos y restricciones que se formulan para reducir la complejidad, y simplificar el problema, generando modelos que no se ajustan adecuadamente a los requerimientos reales de los sistemas hospitalarios. En este estudio se presenta una formulación matemática basada en programación entera-mixta para modelar el problema de asignación de turnos de enfermería en un hospital. Se considera un conjunto de enfermeras y un conjunto de turnos de enfermería definidos: Mañana, tarde, Noche. Asumimos que se hace la planeación para un horizonte de tiempo discreto y finito. El modelo decide la planeación de horarios semanales para cada una de las enfermeras considerando restricciones de tipo laboral, y de tipo institucional.

El modelo propuesto considera dos tipos de restricciones: El primero de estos se conforma por las siguientes "Hard-constrains" las cuales son: 1). ninguna enfermera puede trabajar más de seis días a la semana y 2). Por día, una enfermera puede ser asignada solamente a un turno de los tres existentes. El segundo conjunto de restricciones se compone de restricciones tipo "soft" que son penalizadas en la única función objetivo con un factor constante de "castigo". Estas son determinadas en base a políticas institucionales de trabajo y son: por mucho el 20% de los empleados pueden descansar durante un día; mínimo el 30% del total de empleados debe ser asignado al turno de noche, de la misma forma, los turnos de la mañana y tarde han de tener asignados al menos el 10% del total de personal asignado.

Como parte de la abstracción de la realidad realizada para la formulación del modelo, se plantean tres supuestos: Primero, todas las enfermeras o empleados asignados son considerados iguales, tanto en disponibilidad de tiempo, como en habilidades específicas. Segundo, no hay cambios de turnos, es decir la planeación no se ha de modificar una vez hecha.

Se compara el desempeño de un método exacto contra el desempeño de una heurística constructiva en un conjunto de 100 instancias aleatorias de diferentes tamaños. Los parámetros aleatorios para la generación de instancias son: el número de enfermeras y el factor de penalización de cada una de las restricciones soft. Los resultados preliminares muestran competitividad de la heurística desarrollada, robustez de los resultados y tiempos computacionales razonables.

La investigación en curso está dirigida a la inclusión de habilidades específicas de cada uno de los miembros del personal de enfermería, los requerimientos de cada una de las unidades médicas, y la consistencia de las soluciones.

**#70-Modelo de Juegos Cooperativos para la toma de decisiones en el aprovisionamiento de una cadena tipo retail bajo el esquema VMI**

*D. Landinez, Fundación Centro de Investigación en Modelación Empresarial del Caribe, FCIMEC, Barranquilla*  
*Laura P. Manotas Romero, Fundación Centro de Investigación en Modelación Empresarial del Caribe, FCIMEC, Barranquilla*  
*D.G. Ramirez-Rios, Fundación Centro de Investigación en Modelación Empresarial del Caribe, FCIMEC, Barranquilla*  
*L. Ramirez Polo, Fundación Centro de Investigación en Modelación Empresarial del Caribe, FCIMEC, Barranquilla*

Las fluctuaciones en el comportamiento de la demanda y la variabilidad en los tiempos de reaprovisionamiento, son las principales razones para el mantenimiento de los inventarios en cualquier organización, creando la necesidad de diseñar e implementar sistemas para la gestión óptima de inventarios. En los esfuerzos realizados para mejorar la gestión de inventarios en la industria, se han establecido todo tipo de estrategias y métodos que facilitan esta labor. Es así, como surge Vendor Managed Inventory (VMI) o el Inventario Manejado por el Proveedor, definido por Djnega (2011) como un programa de reabastecimiento automático donde el proveedor tiene acceso a la demanda y a los niveles de inventario de sus clientes. Sin embargo, la implementación de esta práctica no garantiza una óptima gestión de inventarios, pues aunque se establecen parámetros generales, no se encuentran definidos lineamientos y contribuciones específicas de cada uno de sus participantes, dejando a decisión de los involucrados, en especial al administrador del inventario, el desarrollo de pronósticos, la elección e implementación de la política de inventario y el manejo del producto. Como respuesta a esta problemática, se plantea un esquema de cooperación vertical y horizontal tomando como ejemplo una cadena de suministro de tres eslabones conformada por fabricante, mayorista y retailer.

Inicialmente se establece el método de pronóstico y la política de inventario a seguir para posteriormente desarrollar un modelo de optimización basado en planeación agregada que busca maximizar la utilidad del sistema. Se evalúan las posibles coaliciones a ser formadas de manera vertical (eslabones de un mismo nivel) y horizontal (Fabricante-Mayorista y Mayorista-Retailer) y finalmente se aplica un modelo basado en Teoría de Juegos Cooperativos cuyas estrategias entre proveedores y clientes están definidas por VMI.

En el presente modelo se definió la mejor estrategia para la cadena teniendo en cuenta la utilidad del sistema y con esto se lograron plantear acuerdos bilaterales entre los participantes de la coalición fijando precios, contribuciones y beneficios para cada uno. Como resultado de esta investigación, se obtuvo de manera significativa una mayor utilidad del sistema cuando las entidades participantes cooperaban en todos los niveles de la cadena.

**#71-Optimización de la distribución en línea de venta directa y retail de LEONISA S.A**

*Juan Villada, Institución Universitaria Esumer, Medellín, juan.villada@esumer.edu.co*  
*Diego Perez Mejía, LEONISA, dperez@leonisa.com*

Las políticas corporativas de embalaje, cubicaje y distribución de mercancías, responden principalmente a criterios de decisión que se han venido sumando acorde a convenios de contratación y de entregas

pactadas con los clientes, lo que ha dado lugar a que la logística en estos puntos pueda ser impactada positivamente en los beneficios económicos y de recursos; mediante el uso de técnicas de modelamiento especializado desde la investigación de operaciones. En esta investigación se desarrolla un modelo piloto para optimizar el volumen de carga en camiones para pedidos de una importante empresa multicanal (retail y venta directa) colombiana; en el estudio se consideran dimensiones definidas de los vehículos y equipos de embalaje a los destinos finales. El modelo fue aplicado a los destinos actuales de las ciudades de Santa Marta y Sincelejo, donde se esperaba obtener el mayor impacto, y donde se realizó un modelamiento compartiendo la carga entre los canales de venta directa y retail. El modelo se planteó con la base de un algoritmo matemático. El impacto parcial obtenido representa disminución de costos entre el 5% y 8%; impactando positivamente el costo de distribución de la carga de ambos canales y dando lugar a una aplicación más amplia del estudio adelantado.

#### **#72-Simulación del impacto de la eficiencia individual en equipos de trabajo en las corporaciones**

Juan Villada Oquendo, *Institución Universitaria ESUMER, Medellín*,  
juan.villada@esumer.edu.co  
Alejandro Roza Villegas, *Institución Universitaria ESUMER, Medellín*,  
avillegas@esumer.edu.co

Los equipos de trabajo operativo en las organizaciones presentan dinámicas complejas: desde la interacción de habilidades y competencias de las personas, su afinidad de trabajo y la capacidad de sinergias propias en equipo y entre ellos. Entender estas interacciones y su impacto corporativo requiere de la generación de modelos especializados que permitan identificar las externalidades generadas. Basándonos en observación directa de las operaciones de picking de una mediana empresa de venta directa en la ciudad de Medellín, se analizaron los errores en la preparación de pedidos en los tres equipos que conforman la fuerza de trabajo para esta actividad; en el momento de la observación, cada equipo contaba con un líder para la gestión. Bajo este escenario, en el presente proyecto de investigación se está analizando, por medio de simulación de sistemas, los impactos de cada líder en los grupos de trabajo y su efecto por rotación; donde se involucraron características cualitativas y cuantitativas de los participantes.

En esta etapa de la investigación, y en el escenario descrito, se han simulado los impactos en costos directos e indirectos y de oportunidad para la organización. Los resultados preliminares muestran el alto sobre costo involucrado por las ineficiencias y ausentismos personales y contrasta la pérdida de oportunidad con la inversión de sistemas automatizados en etapas temprana de las Pymes colombianas.

#### **#74-Mathematical model for the problem of product mixing and lot-sizing decisions under stochastic demand**

Dionicio Neira, *Pontificia Universidad Javeriana Cali*,  
dioneira@hotmail.com  
John Willmer Escobar, *Pontificia Universidad Javeriana Cali*,  
jwescobar@javerianacali.edu.co  
Rafael Guillermo Garcia, *Uniagustianana, Bogotá*,  
dirinvestigaciones@uniagustianana.edu.co

The product mix and lot size decisions are some of the most important research topics for operations research community. Due to the fact that markets have become more unpredictable, the importance of these topics has increased. Currently, managers need to work with product mix and lot size decision models by introducing stochastic variables related to the demands, lead times, etc. However, some real mathematical models that involve stochastic variables are not able to obtain good solutions within short computing times. Furthermore, in many cases, it is difficult to assure that the optimum obtained is the best solution in real life. Several heuristics and metaheuristics have been developed to deal with lot decisions problems, in order to obtain high quality solutions within short computing times. Nevertheless, the search for an efficient model by considering product mix and lot size

with stochastic demand is a prominent research area. This research aims to formulate a general model for the product-mix, and lot size decision in a stochastic demand environment, by considering a previous evaluation of the operations research tools. This research uses the EVA (Economic Value Added) as an optimization criteria for the product mix and lot size decision attempting to obtain high quality solutions within acceptable computing times.

#### **#76-Uso de Pyomo para resolver un problema de programación estocástica**

Ariel Uribe, *ECOPETROL/ICP*, ariel.uribe@ecopetrol.com.co  
Wilson Briceno, *Universidad Autónoma de Bucaramanga*,  
wbriceno@unab.edu.co

En este trabajo se modela un problema de planeamiento de la capacidad de expansión aplicado a procesos de refinación, el cual es formulado vía programación matemática estocástica de dos etapas. Se hace especial énfasis en el entorno de programación usando un lenguaje de modelado matemático orientado a objetos de libre acceso llamado Pyomo vs un lenguaje estructurado como GAMS. Para ello, se parte de la formulación matemática del caso de estudio a resolver y a partir de allí se comienzan a detallar las diferencias entre cada metodología, características de los solvers, tiempos de cómputo, resultados, etc. Finalmente, con este ejercicio se pretende ilustrar las potencialidades de escribir un problema de optimización complejo usando un paradigma orientado a objetos.

#### **#77-Aplicación de la simulación para evaluar la eficacia de las normas colombianas para el manejo de emergencias en distribuciones de puestos de trabajo: Caso centros de servicio.**

Ronald Akerman Ortiz Garcia, *Universidad de Antioquia, Medellín*,  
ronald.ortiz@udea.edu.co  
Yony Fernando Ceballos, *Universidad de Antioquia, Medellín*,  
yony.cebillos@udea.edu.co

La salud y la integridad de las personas es un factor que debe primar en los ambientes laborales en Colombia. Desde esta perspectiva, hay una reglamentación establecida por la legislación que exige que toda empresa debe prevenir y/o controlar emergencias. Frente a esta obligatoriedad, se establecieron normas: la Ley 9 Título III de Enero 24 DE 1979, Resolución 2400 de Mayo 22 de 1979, y la Resolución 1016 de Marzo 31 de 1989, que reglamentan la existencia de planes y recursos concernientes para reducir la cantidad de personas y locaciones afectadas en situaciones de pánico. Sin embargo, cada empresa (centro de servicio) tiene en sus locaciones personas que desempeñan diversas labores y para esto cada puesto de trabajo se construye de acuerdo a unas aptitudes técnicas y físicas de las cuales depende su desempeño laboral. No obstante, la reacción de cada individuo en situaciones de emergencia es diferente, poniendo a prueba la efectividad de las normas definidas ya que estas no tienen en cuenta los perfiles psicosociales de los empleados y otras características como la edad, sexo, limitaciones físicas entre otros que influyen en el desarrollo de una evacuación, por lo que la realización de una investigación en el entorno empresarial colombiano en la cual se modele y simule dicho comportamiento es pertinente.

Para este estudio se evaluarán diversas metodologías de simulación, posteriormente se escogerá una evaluando diversos parámetros como eficiencia, casos de éxito, complejidad entre otras. El paso a seguir es aplicar dicha metodología en el problema planteado, mirando diferentes escenarios en los cuales se evaluará el comportamiento de las personas frente a una situación de pánico, se expondrán los resultados, se concluirá con respecto a los mismos y se harán las debidas recomendaciones para futuras investigaciones que se puedan realizar en este campo.

#### #78–Wildfire risk measurement tools design in Bogotá

*Gilberto Andres Jose Morales Zamora, Universidad de los Andes, Bogotá, ga.morales413@uniandes.edu.co*  
*Santiago Abisambra Castillo, Universidad de los Andes, Bogotá, s.abisambra125@uniandes.edu.co*  
*Raha Akhavan-Tabatabaei, Universidad de los Andes, Bogotá, r.akhavan@uniandes.edu.co*  
*Carlos Felipe Valencia Arboleda, Universidad de los Andes, Bogotá, cf.valencia@uniandes.edu.co*

Forest fires are time evolving disasters that consume environmental and financial resources, endangering the rescue units that try to mitigate them. Therefore, knowing the location in which a fire can start and its propagation course is essential to develop and implement control systems in order to reduce the loss of natural resources without risking firefighters. The purpose of the project is to create a set of fire risk measurement tools that can help the Fire Department of Bogotá D.C. and similar fire departments in the surroundings to mitigate and prevent wildfires. Our main objective is the creation of a fire risk map that considers the probability of each zone to catch fire either by an ignition in the area or by the spread of a previously generated fire in another zone. To accomplish this burn risk probability we propose an ignition risk map and a fire spread simulator. Both tools use a discrete representation of the selected area in order to be able to process and compare the different characteristics of the study region. In the case of the ignition risk map, we selected relevant factors according to the literature and then particular weights were assigned to each one to finally create the map. On the other hand, the velocity in which the fire propagation between neighboring points is simulated depends on variables associated with local or climatological characteristics. Through a large amount of different simulations considering different ignition points (conditioned by the ignition risk probability) and weather conditions, a Monte Carlo simulation is made, in which we obtain the final fire risk by the proportion of times each zone is burned in the simulations. In order to evaluate the performance of our proposed tool, we apply it to a real scenario in a forest reserve area near Bogota, and the results resemble the few fires that had happen in real life. Finally for a better prediction it is necessary to find more reliable data, enhance the methodology used to create the ignition risk map and improve the propagation rate function on the simulator.

#### #79–A discrete-event simulation model to estimate the number of participants in the ciclovía programs

*Maria Juliana Rivera Aldana, Universidad de los Andes, Bogotá, mj.rivera3075@uniandes.edu.co*  
*Amelia Andrea Torres Moreno, Universidad de los Andes, Bogotá, aa.torres2289@uniandes.edu.co*  
*Laura Rocío Vargas Murcia, Universidad de los Andes, Bogotá, lr.vargas2328@uniandes.edu.co*  
*Raha Akhavan-Tabatabaei, Universidad de los Andes, Bogotá, r.akhavan@uniandes.edu.co*  
*Olga Lucía Sarmiento, Universidad de los Andes, Bogotá, osarmien@uniandes.edu.co*  
*Carlos Felipe Valencia Arboleda, Universidad de los Andes, Bogotá, cf.valencia@uniandes.edu.co*

Open-Street Programs, also known as Ciclovía, are free multi-sectorial programs for people from different socio-economic backgrounds where public spaces and streets are closed to motorized traffic and open for leisure activities. Over the past few years implementations of this kind of programs has dramatically expanded worldwide due to their general benefits to public health and their resource-efficient operation. Performance indicators of Ciclovía programs allow analyzing their impact on public health. The number of participants is one of the key performance indicators, and thus its reliable estimation is crucial to measuring the cost-effectiveness of the programs for different cities and municipalities. Therefore, it is necessary to develop a unified and flexible methodology which not only allows the

estimation of the number of participants, but also permits comparison between programs.

We propose a methodology based on a discrete-event simulation model in order to estimate the number of participants in such programs. The model requires 3 types of input data: the activity category of participants and their corresponding average speed, the distribution of the time that users spend in Ciclovía, and the arrival rate, which makes reference to the number of participants that get into the Ciclovía at a particular time and place.

We implement our methodology in two cities in Colombia. The first one is Bogotá, with the largest Ciclovía in the world due to its extension of 113.6 km., and the second case corresponds to the program of Zipaquirá, whose 3.4 km of extension makes it an adequate representation of most of the programs in the world, which are less than 10 km. The estimated number of total participants during a typical day is 1'019,024 in Bogotá and 2,438 in Zipaquirá. For Zipaquirá, we also concluded that the program contributes to the expenditure of 50,258 kcal/kg/day.

The simulation model not only provides information about the number of participants per day but also allows carrying out the validation of the results. This validation consists in comparing the flow statistics against the observations gathered in the fieldwork in order to determine if the model accurately represents a Ciclovía program. We also develop a series of sensitivity analyses that evidence the influence of variables such as the participants' speeds and routing in the flow and hence, in the validation.

Finally, in order to implement our methodology in any Ciclovía program, we identified that there were two issues to be addressed. The first is the fact that this methodology should be used by Ciclovía program coordinators, who may not necessarily have background in simulation. The second one is that the Ciclovía programs have limited resources, which impedes the acquisition of a commercial simulation software. For these reasons, we are in the process of building an open source tool in Python in which the users enter the input data of the model and it runs the simulation.

#### #80–Optimización de portafolios considerando el retorno objetivo como una variable difusa entrópica

*Héctor López-Ospina, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, hectorlopez@javeriana.edu.co*  
*Oscar López, Universidad de los Andes, Bogotá, oj.lopez20@uniandes.edu.co*

Vamos a considerar el modelo de optimización de portafolios de Media-Varianza de Markovitz (1952) bajo el supuesto de que el retorno objetivo es una variable difusa con función de pertenencia entrópica, para esto extendemos la formulación clásica del problema de media-varianza entrópico donde solo se trabaja el supuesto de maximización de la entropía de los pesos del portafolio, ver Bera y Park, (2008).

El modelo clásico de Markovitz nos permite encontrar portafolios óptimos en la frontera eficiente en el espacio riesgo y retorno, sin embargo, contrariamente a la noción de diversificación, dicho enfoque conduce a portafolios muy concentrados en unos pocos activos. En este sentido algunos autores han incluido la maximización de la entropía de los pesos del portafolio como una estrategia para generar portafolios óptimos diversificados (Yu et al. 2014; Zheng et al. 2009; Yu y Lee, 2011, entre otros). Por otro lado, en el área de optimización difusa se han diseñado modelos que suponen que el retorno objetivo es una variable difusa con funciones de pertenencia triangulares y trapezoidales, uno de los inconvenientes de dichas formulaciones es la no linealidad y no diferenciabilidad de las mismas, para esto se usan técnicas de optimización paramétrica. La formulación propuesta en este trabajo asume que el retorno objetivo en una variable difusa entrópica lo cual nos permite resolver este problema por medio de un modelo de optimización multiobjetivo diferenciable, en donde las condiciones de primer orden de este problema nos llevan a un algoritmo de punto fijo que permite encontrar los pesos óptimos y el nivel de pertenencia al retorno objetivo en donde se obtiene una formulación equivalente a un problema de elecciones discretas con interacciones sociales ver Brock y Durlauf, 2001, 2007; Soetevent y

Kooreman de 2007; Dugundji y Gulyás, 2013; De Grange et al. 2013, entre otros.

En la charla se presentaran ejemplos numéricos para analizar la bondad del modelo así como la sensibilidad de los parámetros.

### #81-Un enfoque POMDP a políticas de detección primarias para el cáncer de cuello uterino en Colombia

Juan Arboleda, Universidad de los Andes, Bogotá,  
aa.juan10@uniandes.edu.co

Isabel Namen, Universidad de los Andes, Bogotá,  
mi.namen36@uniandes.edu.co

Raha Akhavan, Universidad de los Andes, Bogotá,  
r.akhavan@uniandes.edu.co

Esma Gel, Arizona State University, Estados Unidos, esma.gel@asu.edu

El cáncer de cuello uterino, también conocido como cáncer cervical, es el segundo tipo de cáncer más frecuente en mujeres alrededor del mundo con más de 500,000 nuevos casos por año. Alrededor del 80% de estos casos y más del 85% de las muertes se registran en países de bajos ingresos. En Colombia, esta enfermedad representa la patología maligna con la segunda mayor tasa de mortalidad en mujeres, después del cáncer de seno. Para prevenirla, se han desarrollado diferentes tipos de pruebas, entre los cuales se encuentra la citología cervical y la prueba de ADN para Virus del Papiloma Humano (ADN-VPH). Este último examen, es una de las mejores formas de tamizaje primario, debido a su mejor desempeño en términos de especificidad y sensibilidad, comparado con la citología. Sin embargo, la prueba ADN-VPH no es muy común en Colombia, debido a que su costo promedio duplica al de la citología y esto hace difícil su acceso para algunas comunidades. Dada esta situación, el objetivo es definir para una paciente cualquiera, desde qué edad y con qué frecuencia se debería examinar. Las guías de manejo médico ya tienen políticas establecidas para resolver este problema; sin embargo, estas guías no consideran la incertidumbre asociada con los resultados de los exámenes o con el estado real del paciente. Se formuló un Proceso de Decisión Markoviano Parcialmente Observable (POMDP) que incorpora las pruebas de tamizaje primario (Citología y ADN-VPH) y la evolución no observable de la enfermedad de acuerdo con la edad. Adicionalmente, este modelo considera las probabilidades de error Tipo I y error Tipo II como la proporción de pacientes mal diagnosticados (falsos positivos y falsos negativos). El POMDP modelado se resolvió de manera óptima, utilizando el algoritmo de Monahan y el algoritmo de Eagle (Eagle's reduction) para generar los vectores que definen a la función objetivo en sus valores máximos. Los resultados mostraron que la programación de exámenes propuesta supera el desempeño de las guías de manejo médico en términos del total esperado de años de vida ajustados por calidad (QALYs por sus siglas en inglés). Adicionalmente, la forma gráfica en la que se representa la solución óptima del modelo intenta ser una herramienta de apoyo a la decisión para la comunidad médica.

### #82-A Simulated Annealing approach for the Location-Routing Problem with heterogeneous fleet (LRPH)

John Willmer Escobar, Pontificia Universidad Javeriana Cali,  
jwescobar@javerianacali.edu.co

Cesar Marin, Integra S.A, Pereira, cmarin@integra.com.co

Jose Bernal, Universidad del Valle, Cali,

jose.bernal@correounivalle.edu.co

Rodrigo Linfati, Universidad del Bío-Bío, Chile, rodrigo@linfati.cl

Gustavo Gatica, Universidad Andrés Bello & Universidad de Santiago de Chile, Chile, gustavo.gatica@usach.cl

We address the Location-Routing Problem with Heterogeneous Fleet (LRPH), in which the goal is to determine the depots to be opened, the customers to be assigned to each open depot, and the routes to be performed to fulfill the demand of the customers by considering a heterogeneous fleet. Each vehicle has a fixed cost and an associated capacity. The objective is to minimize the sum of the cost of the open depots, of the used vehicle costs, and of the variable costs related with the distance traveled by the performed routes. In this paper, we

propose a metaheuristic algorithm based on a Simulated Annealing for the considered problem. The algorithm is tested on benchmark instances adapted from the literature, and the results are compared with other approach proposed for the LRPH. Computational experiments show that the proposed approach is able to obtain, within short computing times, high quality solutions illustrating its competitiveness with other well-known published algorithms.

### #83-Diseño de un modelo de ruteo de vehículos para la recolección de residuos sólidos en el municipio de Zarzal Valle del Cauca

Bryan Henao Guzmán, Universidad del Valle, Cali,  
bryan\_henao@hotmail.com

Jhonier Piedrahita Arana, Universidad del Valle, Cali,  
jhonier.piedrahita@correounivalle.edu.co

Carlos Alberto Rojas Trejos, Universidad del Valle, Cali,  
carlos.rojas.t@correounivalle.edu.co

El trabajo desarrollado busca optimizar el recorrido que debe realizar el vehículo recolector de residuos sólidos por el casco urbano del municipio de Zarzal, Valle del Cauca, mediante un modelo de grafos que representa las principales características de las rutas actuales de recolección, el cual mediante la aplicación del algoritmo del cartero chino se busca obtener una solución en términos de minimizar la distancia total recorrida durante la recolección de residuos sólidos, comparando los resultados obtenidos versus los resultados actuales de la empresa de Aseo Proactiva S.A., referente a la distancia total recorrida.

El estudio ha tenido principalmente tres etapas: En la primera etapa se realizó la caracterización del sistema de recolección de residuos sólidos, donde se hizo un análisis de la estructura vial del municipio y el diagnóstico de las principales causas de la insatisfacción de los usuarios mediante encuestas. La segunda etapa se realizó un análisis de las rutas que actualmente utiliza la empresa, calculando cada una de las distancias de los barrios recorridos, evidenciando que la recolección de los residuos sólidos se realiza muchas veces hasta altas horas de la noche y se repiten muchas de las calles en cada uno de los recorridos. La tercera etapa consiste en la programación, donde se logra aplicar el método de barrido para generar las posibles macrorutas de acuerdo a la generación de residuos sólidos de cada barrio, sus coordenadas cartesianas y la capacidad del vehículo recolector. Luego se aplicó el modelo de pétalos para buscar cuál de las macrorutas generadas por el método del barrido era la mejor, con base en el resultado anterior, se aplicó el Problema del Cartero Chino, para la solución de las microrutas de cada uno de los barrios de la zona urbana del municipio. Algunas condiciones que se ponen son el hecho de pasar como mínimo una vez por todas las calles para cubrir toda la demanda de los usuarios, aunque lo ideal sería pasar sólo en una ocasión o al menos no repetir excesivamente las mismas calles y marcar el punto de origen y fin de recorrido.

### #84-Controlled Framework of Machining Parameters for Engineering Surface Microstructure

Sepideh Abolghasem, University of Pittsburgh, Estados Unidos & Universidad de los Andes, Bogotá, ag.sepideh10@uniandes.edu.co

Raha Akhavan, Universidad de los Andes, Bogotá,

r.akhavan@uniandes.edu.co

M. Ravi Shankar, University of Pittsburgh, Estados Unidos,

ravishm@pitt.edu

Roberto Zarama, Universidad de los Andes, Bogotá,

rzarama@uniandes.edu.co

Engineering surface structures especially at the nanometer length-scales can enable fundamentally new multifunctional property combinations, including tunable physical, mechanical, electrochemical and biological responses. Emerging manufacturing paradigms involving Severe Plastic Deformation (SPD) for manipulating crystal structures at the surfaces are unfortunately limited by poorly elucidated process-structure-performance linkages, which are characterized by three central variables of plasticity: strain, strain-rate

and temperatures that determine the resulting ultrafine grained (UFG) microstructure. The challenge of UFG surface engineering, design and manufacturing can be overcome if and only if the mappings between the central variables and the final microstructure are delineated.

The objective of the present work is to first envision a phase-space, whose axes are parameterized in terms of the central variables of SPD in machining: strain, strain-rate and the coupled temperature rise. Then, each point can correspond to a unique microstructure, characterized by its location on this map. If the parameterization and the population of the datasets are accurately defined, then the mapping is bijective where: i) realizing microstructure designs can be reduced to simply one of tuning process parameters falling within the map's desired subspaces. And, inversely, ii) microstructure prediction is directly possible by merely relating the measured/calculated thermomechanics at each point in the deformation zone to the corresponding spot on the maps.

However, the analytic approach to establish this map first requires extensive data-sets, where the microstructures are accurately measured for a known set of input process parameters. Although such data-sets do not exist, even after the empirical data is accumulated, there is a lack of formalized statistical outlines in relating microstructural characteristic to the process parameters in order to build the mapping framework. Addressing this two fold gap has led to this research effort, where Large Strain Machining (LSM) is presented as a controlled test of microstructure response. Copper sample conditions are created using LSM, while characterizing the deformation characteristics using Digital Image Correlation (DIC) and Infrared (IR) thermography. Microstructural consequences such as grain size, subgrain size and grain boundary responses resulting from the characterized thermomechanical conditions are examined using electron backscattered diffraction (EBSD). Once empirical data is generated across broad thermomechanical conditions, reliable microstructure maps are populated to help predict, control and optimize the resulting microstructure of surfaces. This characterization can help understand surface microstructures resulting from shear-based manufacturing processes such as turning, milling, shaping, etc. that are created under analogous thermomechanical conditions.

#### **#85-Modelo de programación multiobjetivo para el diseño de una red integrada de prestación de servicios hospitalarios: Caso Valle del Cauca**

*Jorge Luis Giraldo Gomez, Pontificia Universidad Javeriana Cali, jorgelg85@hotmail.com*

*Diego Andres Londoño, Pontificia Universidad Javeriana Cali, diego\_andres3@hotmail.com*

*John Willmer Escobar, Pontificia Universidad Javeriana Cali, jwescobar@javerianacali.edu.co*

*Nicolás Clavijo Buritica, Pontificia Universidad Javeriana Cali, nicolas.clavijo@javerianacali.edu.co*

Una situación generalizada y frecuente en los sistemas de prestación de servicios de salud en los países en vías de desarrollo es la presencia de barreras para el acceso y atención de la población, así como debilidades en la planeación de la red de servicios y aseguramiento de la operatividad funcional y sistémica de los Hospitales. En el caso del Valle del Cauca, Colombia, la red pública de prestadores de servicios está conformada por varias instituciones, cuya mayoría son Empresas Sociales de Estado (ESE) y algunos Hospitales de carácter público. Cada institución ofrece un número limitado de servicios con diferentes tipos de complejidad cada uno, lo cual genera una oferta no equitativa del servicio a la población. De aquí, la necesidad de diseñar una red integrada de servicios que permita distribuir de forma eficiente los servicios a las diferentes zonas geográficas del Valle del Cauca teniendo en cuenta la complejidad de los mismos. Lo anterior se atiende mediante el desarrollo de un modelo matemático de programación Lineal Multiobjetivo que tras la validación y comparación de los resultados obtenidos entre la red actual y la diseñada, se encuentra una mejor cobertura y un costo más bajo en la red.

#### **#86-Impacto de la variabilidad artificial de la programación de casos quirúrgicos en un hospital de Bogotá**

*Laura P. Díaz-López, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

*Leide Fuquen-Fraile, Depto. de Cirugía, Fundación Santa Fe de Bogotá*

*David Barrera, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

*Eliana M. González-Neira, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

*Luis G. García-Herreros, Depto. de Cirugía, Fundación Santa Fe de Bogotá*

*Daniel R. Suárez, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, d-suarez@javeriana.edu.co*

Dentro de un hospital, gestionar apropiadamente la variabilidad de los procesos en el servicio de cirugías puede llevar a aumentar la utilización de las salas y el volumen de pacientes atendidos, entre otros. Trabajos anteriores han identificado la programación de las cirugías como la mayor fuente de variabilidad artificial, la cual es ajena al proceso de cirugía. Este estudio evaluó el impacto de la variabilidad introducida por la programación manual de las cirugías, y por otros factores ajenos al proceso, en un hospital de alta complejidad en Bogotá. Esta evaluación es dada en términos del tiempo de oportunidad de las cirugías y el tiempo promedio de las franjas ociosas en la programación.

Se implementó una regla de despacho para la generación automática de dos programaciones que luego fueron comparadas con la realizada manualmente en el servicio de cirugía estudiado. El servicio está conformado por diez salas y durante el periodo de observación (31 días) se registraron un total de 655. El servicio emplea una programación por bloques que favorece las especialidades de alta demanda. El correcto diseño de los bloques fue verificado y no modificado por parte de este estudio.

Se efectuaron experimentos computacionales para evaluar el impacto de la programación artificial en el servicio. Se compararon tres escenarios (Esc.). Esc.1-Actual: La programación y la duración de las cirugías se mantuvieron como sucedieron en la realidad. En este escenario hay variabilidad artificial, incluida la generada por la programación manual. Esc. 2: La duración de las cirugías se mantuvo y la programación se hizo con un algoritmo offline basado en la regla de despacho worst fit. De esta manera, se eliminó la variabilidad introducida por la programación manual. Esc. 3: Igual que el escenario anterior excepto que se redijeron a una duración promedio las cirugías que estaban fuera de límites de control del proceso. Se asumió que se eliminó toda variabilidad artificial en este último escenario. El cambio en el tiempo de oportunidad y la duración promedio de las franjas ociosas fueron comparados por medio de pruebas de hipótesis y un Análisis de Varianza de dos factores (escenario y especialidad). Respecto al escenario actual, el tiempo de oportunidad en los escenarios 2 y 3 disminuyó en 0.96 y 0.91 días por semana ( $p < 0.01$  en ambos casos), respectivamente. También en ambos casos, se logró aumentar la longitud de las franjas ociosas del servicio, liberando capacidad instalada para la atención de cirugías adicionales. Los escenarios 2 y 3 no presentaron diferencias significativas, por lo que la mayor parte de la variabilidad artificial sería introducida por la programación manual del servicio.

#### **#87-Mejora en Ocupación, Oportunidad, y Variabilidad en la Programación de un Servicio de Cirugía**

*Ana M. Estupiñán, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

*M. Juliana Torres, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

*Nicolás Pérez, Hospital Universitario Mayor - Mederi*

*Eliana M. González-Neira, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

*David Barrera, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

*Jorge Barbosa, Hospital Universitario Mayor - Mederi*

*Martha P. Caro, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá*

*Carlos Sefair, Hospital Universitario Mayor - Mederi*

*Daniel R. Suárez, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, d-suarez@javeriana.edu.co*

Se ha identificado que la programación de los quirófanos es el factor de mayor incidencia en el desempeño y rendimiento del servicio de cirugías de un hospital. Este estudio evaluó los efectos en indicadores de desempeño al hacer una programación semiautomática de cirugías a

través de un algoritmo combinado con reglas de despacho en el Hospital Universitario Mayor – Méderi (HUM), Bogotá. Las hipótesis planteadas fueron si la utilización de la programación semiautomática podía: (i) reducir la variabilidad diaria del servicio de cirugías, (ii) aumentar la disponibilidad de los quirófanos, y (iii) mejorar el tiempo de oportunidad para una cirugía.

Este estudio empleó los registros del servicio de cirugía de un mes regular (mayo 2,014). El servicio estudiado cuenta con 19 quirófanos, ejecuta alrededor de 35.000 cirugías al año y el proceso de programación de cirugías se realiza manualmente. El estudio se realizó en tres etapas, una de diagnóstico, otra de desarrollo de alternativas para efectuar la programación y la última de validación de los resultados mediante cuatro indicadores de desempeño. La programación real realizada en un mes en el HUM fue comparada con las generadas a partir del empleo del algoritmo Bin Packing y las reglas de despacho Longest Processing Time (LPT) y Shortest Processing Time (SPT).

Se encontró que la aplicación del algoritmo Bin Packing con la regla LPT hubiera logrado una mejora significativa en la programación del mes estudiado, con respecto a la programación actual del Hospital, en los indicadores evaluados: los coeficientes de variación del flujo de pacientes y ocupación diaria se redujeron en un 25,09% y un 36,71%, respectivamente. Adicionalmente, se obtuvo una mejora en el tiempo de oportunidad con un adelanto promedio de las cirugías en 6,2 días y un incremento en la ocupación del servicio en 26,22%. La programación con la regla SPT tuvo resultados similares en la reducción de la variabilidad de la ocupación en 41,79% y cambiando el tiempo de oportunidad (adelanto en 8,5 días), pero aumentó la variabilidad en el flujo de paciente en 22,7% y disminuyó la ocupación en 2,28%.

Una programación semiautomática de las salas de cirugía en el HUM empleado la regla LPT lograría mejorar sustancialmente indicadores de variabilidad del servicio, tiempo de oportunidad y ocupación.

#### **#88–Green CFLP: Localización de instalaciones cementeras con restricciones sobre los impactos ambientales**

*Gabriel Esteban Hincapié Osorno, Universidad EAFIT, Medellín, ghincap5@eafit.edu.co*

*Mario C. Velez-Gallego, Universidad EAFIT, marvelez@eafit.edu.co*

El problema de localización de instalaciones ha sido abordado por el área de la investigación de operaciones desde hace más de 50 años. Inicialmente se refería únicamente a su ubicación geográfica, pero la inclusión de decisiones sobre capacidad lo convirtió en un problema clásico de la investigación de operaciones. La creciente intensidad de transporte de materiales en la cadena de abastecimiento, sumada a la preocupación global por reducir las emisiones de gases con efecto invernadero, hace pensar que el problema de la minimización de las emisiones de CO<sub>2</sub> será un elemento necesario en cualquier decisión de localización. A través de este trabajo se pretende abordar el problema de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la decisión de localización de instalaciones para la producción de cemento. Esta actividad productiva es altamente intensiva en emisiones de CO<sub>2</sub> y resulta particularmente interesante por los recientes

cambios en la lógica de localización de estas instalaciones: hasta hace algunos años, éstas estaban claramente ligadas a los depósitos de caliza, pero esto ha cambiado debido a la globalización, a una mejor infraestructura y condiciones logísticas para el comercio internacional y a los avances en las condiciones técnicas de producción que han permitido incrementos en la capacidad de producción que no solo tienen claras ventajas marginales en relación con los costos y los impactos ambientales, sino que hacen atractiva la importación de clínker en lugar de producirlo localmente.

A través de este trabajo, se pretende incluir la preocupación por el problema de calentamiento global en las decisiones de diseño de la cadena de abastecimiento de cemento, lo cual resulta de gran pertinencia debido a la importante participación de la industria del cemento en las emisiones globales de CO<sub>2</sub> que son del 7% del total de emisiones antropogénicas. Las emisiones generadas durante el proceso se dividen así: (i) En la producción de clínker el 50% es del proceso

químico y 40% de la combustión realizada en el horno. (ii) En la molienda se genera el 5% debido a la combustión necesaria para producir la energía que requiere esta etapa. (iii) En el empaque y distribución del cemento el 5% de emisiones restantes.

Se plantea un problema lineal entero mixto para tomar decisiones de ubicación, suministro de materias primas, capacidad de producción, tecnologías y asignación de la demanda de cada cliente a cada una de las instalaciones en la red. Además se propone una formulación biobjetivo la cual busca (1) Minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción y el transporte. (2) Minimizar los costos de localización, producción y logística, considerando que el valor de cada función está asociado al tipo de tecnología de producción, a menores emisiones marginales relacionadas con mayores escalas de producción y a la reducción de necesidades de transporte. Como elemento adicional, se incluye la posibilidad de la compra de clínker a proveedores externos, con bajas emisiones en el proceso de producción pero grandes necesidades de transporte.

#### **#89–A Stochastic Dynamic Model to Optimize the Promotions Period in Airlines**

*Mariana Escallón, Universidad de los Andes, Bogotá*

*Cristina López, Universidad de los Andes, Bogotá*

*Raha Akhavan, Universidad de los Andes, Bogotá,*

*r.akhavan@uniandes.edu.co*

*Daniel Felipe Otero, Universidad de los Andes, Bogotá,*

*df.otero128@uniandes.edu.co*

The idea of offering a promotion is to help increment the demand for a flight. Several decisions have to be made to offer a promotion such as the price and when and for how long to offer it. The problem of fixing the promotional price has been extensively discussed, using econometric and optimization models, which are not that easy to implement in practice. Firstly, they use different variables which are not easy to estimate, such as the demand elasticity. In addition, those studies show only the optimal promotional price and not for how long the promotion should be offered. Moreover, it is usually fixed by the airline according to marketing strategies. We propose a stochastic dynamic model to maximize the revenue, by evaluating the decision of whether or not to offer the promotion, assuming that the promotional price is known. In order to take this decision, we take into account the dilution effect when a promotion is available. The dilution is divided into two types: the time dilution and the fare family dilution. The time dilution happens when someone buys before it was expected and the fare family dilution happens when someone expected to buy a different product, buys the promotion. Therefore, we show a model to estimate these types of dilutions and how to include them in the SDP model. Finally, we perform a sensibility analysis where prices and other parameters are changed, showing that our model is robust and follows the behavior that we expected.

#### **#90–Revenue Management Applied to the Hotel Industry**

*Juan Daniel Daza, Universidad de los Andes, Bogotá*

*Juan Felipe Imbett, Universidad de los Andes, Bogotá*

*Andrés Felipe Montoya, Universidad de los Andes, Bogotá*

*Juan José Pineda, Universidad de los Andes, Bogotá*

*Javier Valenzuela, Universidad de los Andes, Bogotá*

*Raha Akhavan, Universidad de los Andes, Bogotá,*

*r.akhavan@uniandes.edu.co*

*Daniel Felipe Otero, Universidad de los Andes, Bogotá,*

*df.otero128@uniandes.edu.co*

The hotel industry has the perfect type of business to apply Revenue Management to, having perishable products and fixed costs per room. This is why Revenue Management has been applied in this industry since the 90's, beginning in the Marriot chain. In the past 20 years, there have been extensive research in this field; mainly applying the models already developed in the airline industry. Therefore, these models fail to consider some of the hotel-specific variables. We propose a different approach, applying one of the most important variables of all, the length of stay of the guest in the hotel. We present

four models where we take into account the length of stay as part of the model. First we focus on the recapture rate, which evaluates the percentage of guests that return to the hotel after they cancelled or could not book a room. Then we present a capacity control model for rooms where we first discuss the segmentation of customers depending on the length of stay and the time of the year, followed by an optimization model applying the stochastic behaviors of the customers to find the optimal room segmentation. Next, we propose a model to estimate the price to sell a room depending on the number of rooms available at a moment of time, assuming that the bid prices are known. We propose a non-linear optimization model, adding the effects of the demand elasticity. Finally we propose an overbooking model, which unlike models proposed in the literature, takes into account the length of stay. We show an optimization model where we use the cancellation probability, length of stay probability, the cost of an empty room, and the cost of an oversale to calculate the overbooking level that minimizes the costs mentioned before. We test our models with industry data and compare it with different models in the literature and the models apply in the industry. We perform better compare with the other models mostly because we take into account the effects of the length of stay.

#### **#91-Extending the Combined Maintenance and Routing Optimization Approach**

*John Fontecha, Universidad de los Andes, Bogotá*  
*Raha Akhavan-Tabatabaei, Universidad de los Andes, Bogotá*  
*Daniel Duque, Universidad de los Andes, Bogotá*  
*Andrés L. Medaglia, Universidad de los Andes, Bogotá*  
*Juan Pablo Rodríguez, Universidad de los Andes, Bogotá*

In this work we tackle the problem of planning and scheduling maintenance operations for a set of geographically-distributed machines (customer) that are subject to non-deterministic failures. To solve the problem, we extend a combined maintenance and routing (CMR) optimization approach which is an iterative procedure based on two components. First a maintenance model is used to determine the optimal time to perform preventive maintenance operations for each customer. Then, a LP-based split procedure is proposed to route a set of technicians in order to perform preventive maintenance operations at a minimum cost. We also present a case study for sediment-related sewer blockages in the Sewer System of Bogotá, where +200 maintenance operations must be scheduled on a weekly basis.

#### **#92-Desarrollo de una herramienta de apoyo a la decisión para el diagnóstico de cáncer cervical**

*Vivian Carranza, Universidad de los Andes, Bogotá,*  
*vi.carranza131@uniandes.edu.co*  
*Maria Alejandra Wilches, Universidad de los Andes, Bogotá,*  
*ma.wilches529@uniandes.edu.co*  
*Raha Akhavan, Universidad de los Andes, Bogotá,*  
*r.akhavan@uniandes.edu.co*

El cáncer cervical es el crecimiento anormal y acelerado de las células que se encuentran en los tejidos uterinos. En general la enfermedad es causada por el virus del Papiloma Humano. Según el Ministerio de Salud, en Colombia mueren 7,08 mujeres por cada 100.000 a causa de este tipo de cáncer. Sin embargo, en países como Estados Unidos y Canadá las tasas de mortalidad por cáncer cervical son muy bajas debido a que las mujeres se realizan citologías u otros exámenes con alta frecuencia. Pero en Colombia, estos exámenes tienen costos que no pueden ser cubiertos por toda la población vulnerable.

Por esta razón, se tomará el modelo desarrollado por Namén y Akhavan en 2012 y el modelo desarrollado por Valcárcel y Akhavan en 2013 con el fin de construir una herramienta para los médicos encargados de la prevención y tratamiento de este tipo de cáncer que les permita saber, con base en información de cada paciente, que tipo de examen diagnóstico es recomendable llevar a cabo: una citología, una prueba de VPH, los dos exámenes o ninguno.

De esta forma, el proyecto llevará a cabo tres fases: la primera es la actualización de parámetros, donde se tenga en cuenta la sensibilidad y

la especificidad de los exámenes que se toman en Colombia y en el centro médico donde se usará la herramienta; la segunda es el análisis de sensibilidad de las políticas generadas, es decir, realizar un análisis de la validez de los resultados del modelo; y la tercera es la creación de una interfaz que permita conectar el modelo con el usuario de forma eficaz y flexible. En consecuencia, se espera que al generar políticas óptimas de diagnóstico con parámetros específicos de la región, la tasa de mortalidad causada por el cáncer cervical en Bogotá disminuya. Hasta el momento, se ha realizado la interfaz y se está conectando con el modelo, de forma que este funcione y sea flexible ante cambios en los parámetros. Esto incluye el análisis de sensibilidad de los resultados y su respectiva validación.

#### **#93-Localización de puntos de acopio y reproceso de una red logística inversa considerando la mejora de medidas de desempeño operativas**

*Eliana Martínez, Universidad del Valle, Cali,*  
*beatriz.eliana.martinez@correounivalle.edu.co*  
*Germán Maya, Universidad del Valle, Cali, germanm06@hotmail.com*  
*Andrés Salazar, Universidad del Valle, Cali,*  
*andres.f.salazar@correounivalle.edu.co*

Diseñar una red logística es una decisión estratégica que influye en la efectividad de la administración de la cadena de suministro. Debido a la legislación gubernamental, la preocupación medioambiental, la responsabilidad social y la necesidad de desarrollar organizaciones cada vez más competitivas, las empresas se han visto obligadas a crear estrategias que les permitan alargar el ciclo de vida de los productos; es así como los procesos logísticos inversos están ganando cada vez más importancia.

En este trabajo se propone un modelo de programación lineal entera mixta para el diseño de una red logística inversa en un ambiente multiperíodo y multiproducto, la cual comprende un material de empaque secundario que retorna de los clientes a la planta de producción con el objetivo de convertirse nuevamente en modo de embalaje para productos envasados. Actividades de recolección e inspección son realizadas con el objetivo de decidir si el material puede continuar en la red o si debe ser dispuesto por haber cumplido con su ciclo de vida útil; dichas actividades (incluyendo reproceso o remanufactura) son realizadas en dos tipos de instalaciones: centros de recolección/inspección que solo funcionan en sentido inverso, y centros híbridos que facilitan el flujo tanto en sentido inverso como directo.

El modelo minimiza los costos de operar la red: costos de transporte entre nodos, de manejo de producto y material de empaque, de apertura de instalaciones, de compra y mantenimiento de inventario de material secundario y de penalización por demanda no servida. Así mismo, permite determinar la cantidad y localización óptima de las instalaciones mencionadas (recolección/inspección e híbridos), el flujo entre cada par de nodos de la red, la demanda no servida a los clientes y la necesidad de compra e inventario a almacenar de empaque secundario.

Un caso de estudio teórico es desarrollado tomando parámetros de una industria del Valle del Cauca y eligiendo los restantes en orden de magnitud realista.

Se recurre al lenguaje de programación AMPL y al solver Gurobi 5.5.0 como herramienta para hallar la solución óptima de la red logística inversa propuesta. El modelo base presentó 4726 variables (10 binarias y 4716 enteras), y 2929 restricciones.

Los resultados obtenidos permiten concluir que: algunos clientes no son surtidos en su totalidad debido a que la empresa prefiere incurrir en costos por demanda no

servida; los centros de recolección son prioridad a la hora de ser abiertos sobre los híbridos debido a la especialización de las tareas en flujo inverso (el costo de recuperar cada corrugado en la primera instalación es 6 puntos porcentuales más económico que hacerlo en la segunda); se obtiene un nivel de servicio de 92,53% y existe un ahorro del 30% por cada corrugado que es recuperado versus la compra de uno nuevo. Finalmente, un análisis de sensibilidad es llevado a cabo sobre los resultados obtenidos para conocer el impacto en algunas

medidas de desempeño operativas (costos, nivel de servicio, capacidad) y de esta manera, demostrar los beneficios potenciales del diseño de redes logísticas inversas.

**#94–Aplicación de la simulación de eventos discretos en la prestación de servicios de una entidad bancaria**

*Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, mabuitrago@uceva.edu.co*  
*Paula Andrea Núñez Rivera, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, paulisnr1@hotmail.com*  
*Diana Carolina Monroy Gutiérrez, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, d.c.m.g@hotmail.com*

La investigación propone el diseño de un modelo de Simulación de Eventos discretos en lenguaje SIMAN sobre la plataforma de ARENA 14.0, como herramienta válida para hacer el análisis comparativo y evaluación de los modelos de simulación derivados del problema propuesto.

Para analizar el sistema se diseña un modelo de simulación representativo del sistema actual, y con base en el análisis de las medidas de desempeño de diferentes escenarios se define la mejor alternativa de desempeño.

Con la caracterización de la situación problemática, se evidencia la necesidad de implementar una herramienta que permita dar soporte al análisis del proceso de servicio al cliente y ayudar en la toma de decisiones más eficientes; en este caso se aplica la simulación de eventos discretos, como metodología derivada de las teoría de colas y la investigación de operaciones, con la cual se diseña un modelo donde ocurren eventos como consecuencia de duración de actividades y/o demoras.

Todas las simulaciones de eventos discretos describen, en forma directa o indirecta, situaciones de colas en las que llegan los clientes, esperan en una cola si es necesario, y a continuación reciben su servicio para después salir del sistema. En general, todo modelo de eventos discretos está formado por una red de colas interrelacionadas. El diseño y aplicación del modelo en la propia investigación, presenta una metodología general que puede ser replicada en diferentes sistemas de prestación de servicios, para hacer análisis en tiempo real con la simulación de diferentes posibles escenarios para la toma de decisiones con menor riesgo y sin incurrir en costos adicionales por la experimentación.

**#95–Análisis de la productividad utilizando la simulación de eventos discretos y el diseño de experimentos, en una empresa del sector alimenticio**

*Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, mabuitrago@uceva.edu.co*  
*Carolina Ossa Escobar, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, carito\_0428@hotmail.com*  
*Cindy Lorena Rivera Agudelo, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, cindy\_cilori@hotmail.com*

La investigación propone una metodología general, basada en la Simulación de Eventos Discretos y el Diseño de Experimentos, para el análisis de la productividad en una empresa del sector alimenticio y propuesta de mejora. A través de las técnicas de simulación y diseño de experimentos que comprende el diagnóstico de la situación actual problema de estudio, el diseño de un modelos de simulación en un lenguaje de programación apropiado (SIMAN), la validación del modelo frente al problema real y el planteamiento de posibles escenarios de trabajo. Para la parte del análisis de los posibles escenarios, se hizo un diseño de experimentos aplicando un factorial 2k (dos a la k, con k=3), para tres factores y dos niveles y un total de 8 tratamientos que definieron la necesidad de diseñar nueve modelos diferentes (incluyendo el sistema original) y cinco réplicas de cada uno para un total de 40 corridas. Para cada uno de los tratamientos, con base en la información entregada por la simulación, se realizó el respectivo análisis de varianza (ANOVA) y poder determinar el factor predominante en la variable de respuesta, la incidencia de este factor determina la productividad del sistema.

Aunque las Simulación en sí misma, ya propone una herramienta sumamente poderosa, combinada con el Diseño de Experimentos presenta argumentos mejor sustentados desde los análisis estadísticos realizados al sistema productivo contribuyendo de forma efectiva a la toma de decisiones para encontrar la mejor forma de desempeño con los menores costos posibles, ayudando a la empresa a ser más competitiva y a encontrar su permanencia en el mercado.

**#96–Aplicación del lean manufacturing y la simulación de eventos discretos en el análisis de procesos de prestación de servicios de salud**

*Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, mabuitrago@uceva.edu.co*  
*Lina María Varela Benítez, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, linavabe@hotmail.com*  
*Natalia Andrea Perea Libreros, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, nati\_andrea93@hotmail.com*

La adecuada gestión de recursos al igual que la coordinación de actividades que generen valor dentro de un proceso de prestación de servicios permite mejorar continuamente los resultados operativos y disminuir los desperdicios.

Este trabajo emplea el enfoque Lean Manufacturing e involucra la Simulación de Eventos Discretos como mecanismo de experimentación y puesta a prueba, con el fin de lograr un escenario de mejoramiento para el sistema de estudio. Inicialmente se realiza un diagrama de flujo de proceso que permite tener una visión clara del mismo y reconocer las actividades involucradas durante la prestación del servicio; posterior a ello se emplea la técnica de los cinco porqués la cual muestra los problemas existentes y sus causas reales; finalmente se construye un mapeo de flujo de valor (VSM) mediante el cual se identifican los desperdicios y se diseña un escenario de mejoramiento para el proceso.

Se diseña un Modelo de Simulación para la comprensión del sistema actual y la evaluación del escenario mejorado para la obtención de datos confiables asociados a las medidas de efectividad.

El desarrollo del estudio empieza con la caracterización del proceso de atención, posteriormente se realiza un análisis Lean empleando herramientas cualitativas y Value Stream Mapping, los cuales permiten la identificación de desperdicios, teniendo este análisis se procede a la construcción de un modelo de Simulación de Eventos Discretos para el escenario actual y el escenario propuesto haciendo uso del software ARENA ® versión académica con lenguaje de programación SIMAN, donde se determinan características específicas como tiempo promedio de espera en fila en cada recurso, tiempo promedio en sistema por tipo de usuario, número promedio de usuarios en fila y utilización de los recursos, para así obtener resultados que permiten realizar una comparación de las estadísticas de cada escenario por medio del Output Analyzer y poder decidir cuál de los dos escenarios es el que contribuye en mayor medida al mejoramiento del proceso de atención en la entidad.

**#97–Aplicación de la simulación de eventos discretos en el diagnóstico del sistema de gestión de mantenimiento en un ingenio azucarero**

*Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Universidad del Valle, Cali, mauricio.buitrago@correounivalle.edu.co*  
*Juan Jose Rojas Reyes, Universidad del Valle, Cali, juan jose.rojas@correounivalle.edu.co*  
*Kelly Estefany Bueno Jaramillo, Universidad del Valle, Cali, kelly.estefany.bueno1@correounivalle.edu.co*

La presente investigación plantea el uso de herramientas de simulación en el proceso de molienda de un ingenio azucarero considerando la disponibilidad de los equipos críticos del sistema evaluando el impacto económico en la empresa. Se desarrolla un modelo para evaluar el tiempo perdido durante un año que puede generar un equipo crítico debido a fallas emergentes para establecer parámetros de tiempo de simulación para alimentar otro modelo que a partir de información de la cantidad de caña que entra al proceso y la velocidad de molienda

evalúa el impacto en los ingresos de la empresa según la producción que deja de ejecutar el sistema durante este tiempo. Dentro de este enfoque, la simulación es una herramienta poderosa, confiable y relevante para la mejora de los procesos productivos dentro de las industrias, debido a que permite identificar y comprender los requerimientos del sistema. En otras circunstancias, el uso de herramientas de simulación evalúa el posible comportamiento de un proceso cuando en él se modifica variables que afectan las medidas de efectividad y así conocer la mejor alternativa antes de llevarlo a la realidad.

El desarrollo del modelo de simulación inicia con el diseño conceptual del proceso de molienda el cual afecta directamente, durante esta etapa se consideran factores clave que contribuyen a la precisión de los resultados. De esta forma se procede a recolectar datos confiables como tiempos entre fallas, tiempos de reparación, cantidad de caña entrada al sistema y el tiempo de ciclo de la materia prima en los equipos para ingresar al sistema computacional y establecer los parámetros necesarios para trasladar el modelo a lenguaje de simulación SIMAN sobre la plataforma ARENA 14 de Rockwell Software en su versión estudiantil. Después se procede a verificar el programa y validar el modelo lo cual se hace revisando el código computacional y el nivel en que el modelo representa la realidad del comportamiento del proceso, de esta forma se diseña el experimento donde se seleccionan factores que afecten las medidas de eficacia, se determinan condiciones iniciales, condiciones del estado estable, la duración de una corrida de simulación, el número de repeticiones y la aplicación de técnicas de reducción de la varianza. Por último se desarrolla el análisis de los resultados para consolidar el informe final de la simulación y los datos obtenidos a través de la experimentación de cada escenario propuesto.

#### **#98-Simulación de eventos discretos aplicada en el cálculo de la capacidad y propuesta de mejora de un sistema de prestación de servicios de salud**

*Mauricio Alejandro Buitrago Soto, Universidad del Valle, Cali,  
mauricio.buitrago@correounivalle.edu.co  
Jorgue Andres Dominguez Clavijo, Universidad del Valle, Cali,  
jadc7415@hotmail.com  
Diana Carolina Ruiz Méndez, Universidad del Valle, Cali,  
dianitaruiz12@hotmail.com*

En la presente investigación se aplica una metodología basada en procesos de producción y simulación de sistemas productivos, para realizar el cálculo de capacidades de un sistema de prestación de servicios de salud, iniciando con la caracterización del sistema como sustento para el diseño del modelo de simulación del sistema original, realizando los respectivos análisis estadísticos dentro de las pruebas de validación para poder determinar si el modelo es representativo del sistema real y por lo tanto confiable, en cuanto a la lógica y las condiciones experimentales, las hipótesis establecidas y su respectiva comprobación soportan las conclusiones a las que se llega en esta parte.

Con el modelo original establecido se procede a proponer algunos escenarios realistas, pero no estudiados anteriormente en el sistema investigado, para probar algunas oportunidades de mejora que contribuyan a la obtención de valores más adecuados en términos de las medidas de efectividad que permiten medir cada modelo y por tanto el comportamiento del sistema real, entre ellas el tiempo promedio en sistema, el número promedio en fila, el número total de entidades procesadas por unidad de tiempo, la utilización de los recursos, todo dentro de jornadas laborales realistas.

Se construyen dos modelos de simulación para representar el sistema real, uno para los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes, y otro solo para los días sábados, y se proponen cuatro nuevas alternativas de desempeño para ser simuladas.

Las construcciones de los modelos de simulación permitió poner a prueba el sistema real sin causar traumatismos en su comportamiento normal y sin incurrir en costos adicionales derivados de la investigación, de aquí que la simulación fue una herramienta valiosa en

el estudio del problema propuesto obteniendo los datos pertinentes en tiempo real para la eficiente de decisiones con menor riesgo.

#### **#99-Un modelo para el pronóstico de demanda de productos alimenticios en un restaurante institucional con redes neuronales**

*Julio César Londoño Ortega, Universidad del Valle, Cali,  
julio.londono@correounivalle.edu.co  
Danny Steven Martínez Paredes, Universidad del Valle, Cali,  
stevenmartinez880@gmail.com  
Armando Alirio Aguirre Valencia, Universidad del Valle, Cali,  
aralava@hotmail.com*

Uno de los grandes retos que tienen los administradores de la cadena de suministro y especial, los que trabajan en logística es el poder conocer de forma más precisa la demanda futura. Diversas técnicas y herramientas han sido desarrolladas para poder establecer entre otros atributos, la tendencia, la variabilidad y el promedio a partir de una serie de datos históricos que se encuentran disponibles para los últimos  $n$  períodos de tiempo atrás. A las técnicas que permiten establecer los atributos de interés de la demanda futura se les conoce como sistemas de pronósticos y el propósito que se persigue, es encontrar la técnica que permita de mejor forma pronosticar la demanda. Tradicionalmente, las técnicas para pronosticar la demanda futura se basan en el estudio de la serie de datos históricos de demandas pasadas conocidas como series de tiempo y lo que se propone es mediante un modelo matemático representar el comportamiento de la serie, para a partir de este modelo, inferir el comportamiento futuro de la demanda. Generalmente, las series de datos históricos de demanda han sido modelados con técnicas de acuerdo al patrón de comportamiento que siguen, por ejemplo sin tendencia, con tendencia, estacional, o una combinación de estos patrones. Para el caso de un restaurante institucional, es necesario pronosticar de manera muy precisa la demanda futura de alimentación por el carácter perecedero de estos productos y en particular, cuando se trata de una institución educativa, la situación tiene complejidades adicionales, que no permiten que su demanda pueda ser pronosticada con las técnicas tradicionales debido a varias razones, la primera, la serie es discontinua, el restaurante cierra durante el receso académico y al retornar la población que era atendida ha cambiado, ya que ha habido ingreso de nuevos estudiantes y egreso de otros estudiantes (por culminar su carrera, abandono o bajo rendimiento), la segunda razón, el uso del restaurante por parte de los estudiantes varía dependiendo a diversos factores como inicio y fin de semestre, épocas de evaluaciones, horarios, incluso el tipo de menú y la última razón, es que el restaurante es utilizado además por funcionarios de la institución. El resultado de esta situación es una serie de tiempo, discontinua, no perpetua y con cambios de tendencias en determinados instantes del periodo académico. Como, en estas series de tiempo no es posible aplicar técnicas tradicionales, se muestra en este trabajo la aplicación de las Redes Neuronales para pronosticar la demanda de almuerzos en un restaurante institucional. Aunque se han desarrollado diversos trabajos para pronosticar demandas a partir de series de tiempo, en este trabajo, presentamos un estudio, en el que además de la serie de tiempo, se vinculan al análisis factores considerados importantes en la decisión utilizar el restaurante institucional.

#### **#100-Extending the Pulse Framework to the Stochastic Constrained Shortest Path Problem: A Convolution Approach**

*Julian Botero, Universidad de los Andes, Bogotá,  
jd.botero430@uniandes.edu.co  
Daniel Duque, Universidad de los Andes, Bogotá,  
d.duque25@uniandes.edu.co  
Andrés Leonardo Medaglia González, Universidad de los Andes, Bogotá,  
amedagli@uniandes.edu.co*

The Stochastic Constrained Shortest Path Problem (SCSP) is a variant of the Constrained Shortest Path Problem (CSP) in which the resource consumption at each arc is modeled as a random variable. We propose an exact solution method for the SCSP that explores the network in a

recursive way, looking for a path that optimizes a particular objective function, while satisfying a stochastic constraint. The exploration is aggressively pruned by several strategies that aim to discard partial solution in advance. For this study, we consider normal distributions for the random variables associated to the resource consumption over the arcs, and we show how these strategies incorporate the stochastic information.

**#101-Análisis de movilidad vehicular en una zona de confluencia de Barranquilla utilizando la simulación**

*Alejandra Berdugo Alonso, Universidad del Atlántico, Barranquilla, alejaberdugo0292@gmail.com*

*Ronald Andrés Corcho Martínez, Universidad del Atlántico, Barranquilla, rcorcho@mail.uniatlantico.edu.co*

*Daniel Alfonso Mendoza Casseres, Universidad del Atlántico, Barranquilla, danielmendoza@mail.uniatlantico.edu.co*

La movilidad vehicular es un asunto importante de estudio para las ciudades. En una zona de confluencia vehicular, en Barranquilla, se observa la movilidad caótica causada por distintos tipos de automotores, en horas pico. En este estudio se logró evidenciar que el tiempo promedio de permanencia de un vehículo, en la zona de confluencia, supera los 4 minutos convirtiendo al sector en un cuello de botella para calles aledañas. Actualmente, esta problemática converge con áreas restringidas por reparaciones en vías principales que han llevado a estrategias como restricción de tránsito de motos y nuevos semáforos que no han logrado evitar las altas congestiones vehiculares que impactan directamente en los tiempos de transporte en esta zona de la ciudad. En esta investigación se analiza el comportamiento actual de la movilidad vehicular en horas pico de la calle 72 entre carreras 43 y 47 considerada una semi-arteria de la ciudad donde transitan diariamente taxis, vehículos particulares y buses de transporte público. Para afrontar la problemática, se utilizó la simulación discreta utilizando el software 3D Flexsim 7. Los tipos de vehículos son considerados las entidades del sistema que poseen atributos como velocidad, tiempos de transporte y capacidad. Las variables de estado están representadas por el número de vehículos de cada tipo con el fin de analizar el desempeño de las mejoras en el tiempo promedio de permanencia de un tipo de vehículo en el tramo. Se empleó la herramienta Experfit para el análisis estadístico de los datos de entrada y Experimenter para la simulación de distintos escenarios. De esta manera se puede comprender las relaciones existentes entre las variables de movilidad como son la capacidad vial, volumen de vehículos, distribuciones de tiempos de entrada de vehículos al sistema, tiempos de semaforización, entre otras para evaluar diferentes escenarios teniendo en cuenta opciones como carril especial para vehículos de transporte público, pico y placa en la zona y programación de semáforos. Los resultados muestran que se mejora el comportamiento real del sistema disminuyendo el tiempo promedio de permanencia de un vehículo en el tramo permitiendo sugerir diversas medidas para mejorar la movilidad en la zona.

**#102-Análisis de las reprobaciones de asignaturas a través de cadenas de Markov discretas. Caso - Ingeniería Civil - Pontificia Universidad Javeriana**

*Ricardo Otero, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, r.otero@javeriana.edu.co*

*Juan Carlos Palacios, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, jcpalacios@gmail.com*

Durante los últimos años, la retención estudiantil ha sido una variable crítica dentro del proyecto educativo en las Universidades pues comprende el compromiso que adquieren las instituciones con la formación de profesionales a través de la aplicación completa de un proyecto educativo.

Una de las variables fundamentales que están relacionadas con la deserción es el desempeño académico que tiene los estudiantes en las asignaturas que cursan cada semestre. En algunas situaciones se presentan casos en los que la decisión de un estudiante por abandonar el programa académico se debe a los resultados obtenidos en una sola

asignatura, pues el hecho de reprobársela en más de una ocasión influye en su situación académica y en su motivación hacia el programa académico.

En este artículo se propone utilizar cadenas de Markov discretas para modelar el comportamiento que tienen los estudiantes tras su paso por asignaturas críticas del núcleo fundamental del programa. Para ello, se describen a los posibles estados en los que un estudiante puede encontrarse en relación a una asignatura. El propósito principal es analizar las probabilidades asociadas a reprobársela en más de una ocasión una asignatura, y cómo el número de veces que un estudiante reprueba una asignatura incrementa la probabilidad de que éste se retire del programa académico. Como caso de estudio se utiliza la base de datos académica de la Pontificia Universidad Javeriana del programa de ingeniería. En ella se encuentran los registros de cada uno de los cursos que han inscrito los estudiantes, además de su calificación final. Con estos resultados se procede a obtener los estimadores de máxima verosimilitud de las probabilidades de transición entre estados. Entre los resultados encontrados para la asignatura Cálculo Diferencial se aprecia que el 68% de los estudiantes que cursan por primera vez la asignatura la aprueban y que además el 11% de los estudiantes que cursan la asignatura por tercera vez abandonaron el programa académico.

De igual manera, se utilizan tablas de contingencia para probar los dos supuestos fundamentales de las cadenas de Markov discretas: dependencia sólo al estado anterior y homogeneidad de las probabilidades a través de los semestres analizados.

Se pretende que los resultados de este estudio permitan profundizar el análisis que se realiza sobre cómo algunas asignaturas tienen un impacto mayor que otras dentro de la deserción estudiantil de los estudiantes de Ingeniería. Además, las probabilidades de transición pueden convertirse en alertas tempranas para que la Universidad realice un seguimiento especial a aquellos estudiantes que tienen una alta probabilidad de retirarse del programa académico en un semestre en específico. Finalmente, los resultados también pueden ser utilizados para un análisis descriptivo de los porcentajes de reprobaciones en las asignaturas del programa académico, y prestar atención especial a aquellas situaciones en las que el número de veces que se cursa una asignatura tiene una relación inversa con la probabilidad de aprobarla.

**#103-Asignación de vehículos a muelles de entrada y salida en una plataforma de cross docking a través de un modelo de programación lineal entera mixta (MILP)**

*Andrés Mauricio Paredes Rodríguez, Universidad del Valle, Sede Buga, andres.paredes@correounivalle.edu.co*

*Alejandra Ordoñez Patiño, Universidad del Valle, Sede Buga, alejandra.ordonez@correounivalle.edu.co*

*Andrés Felipe Salazar Ramos, Universidad del Valle, Sede Buga, andres.f.salazar@correounivalle.edu.co*

En la actualidad, la logística se ha convertido en una herramienta clave para el funcionamiento y competitividad de las empresas, al permitir el flujo de producto entre los distintos eslabones de la cadena de suministro. Debido a los altos costos que implican las operaciones logísticas, se han desarrollado sistemas como el Cross Docking, el cual es una plataforma de alistamiento donde llegan camiones con grandes cantidades de producto, se descarga la mercancía y en vez de ser almacenada, se prepara lo más rápido posible para ser enviada al cliente.

En la presente ponencia de investigación se propone un modelo de programación lineal entera mixta (MILP) que busca determinar el número de muelles de entrada y salida minimizando los costos operacionales relevantes en el funcionamiento de una plataforma de Cross Docking. Algunos de los costos evaluados se relacionan con el recurso mano de obra y con la utilización de los equipos en la plataforma. Por otro lado el modelo realiza una programación de los vehículos asignando los muelles de entrada y salida de manera óptima. Algunos de los supuestos relacionados están alrededor del máximo número de trabajadores disponibles dentro del sistema y que los operarios asignados a despacho no pueden ser los mismos que laboran en los muelles de descargue del sistema.

El modelo es una adaptación del trabajo realizado por Rosales y Fry (2009), los cuales abordan el problema de cálculo de número de muelles óptimos para una plataforma de Cross Docking de un proveedor logístico de Toyota. Los autores abordan este inconveniente a través de un modelo de programación matemática logrando balancear la carga laboral y minimizar los costos de desplazamientos de los montacargas utilizados en el descargue. Sin embargo es notoria la omisión del despacho de mercancía en el proceso (desde que el producto está listo para ser despachado hasta que este se alista y es cargado a un vehículo de salida), de allí parte la necesidad de modificar y aumentar el alcance del modelo planteado, logrando solucionar y obtener tanto el número de muelles óptimos para el descargue y despacho del producto, como la reducción de costos por desplazamiento que se presenta en el proceso completo.

En el modelo se duplican las restricciones planteadas por Rosales y Fry (2009), se asignan costos de desplazamiento iguales para cada operación (descargue y despacho de camiones), se asume que las puertas son independientes y que en cada una de estas se encuentra un trabajador para realizar labores de descargue y alistamiento de camiones. Es necesario aclarar que los datos que son ingresados al modelo provienen de un caso de estudio teórico realizado por los autores ya que el principal objetivo del documento es mostrar la significancia e impacto en los costos que tiene la decisión de diseño de la plataforma de Cross-Docking y la asignación de los vehículos a cada uno de los muelles.

#### **#104–Aplicación de la investigación de operaciones en la logística humanitaria post-desastre - caso inundaciones**

*Lorena S. Reyes-Rubiano, Universidad de La Sabana, Chía,  
lorenareru@unisabana.edu.co*

*A. Felipe Torres-Ramos, Universidad de La Sabana, Chía,  
andrestora@unisabana.edu.co*

La logística humanitaria va más allá del suministro de bienes y servicios, por lo cual este artículo se centra en el suministro de servicios, teniendo en cuenta el sufrimiento de la población afectada por inundaciones repentinas. Cuando las regiones son afectadas por una inundación, se desencadena un problema de salud pública como consecuencia de la falta de infraestructura que aisle a la población afectada de los ambientes inhóspitos. Este artículo presenta dos modelos de optimización enfocados en la localización de instalaciones teniendo en cuenta el riesgo de inundación y el suministro de asistencia médica y psicológica para la población afectada, especialmente para grupos poblacionales agobiados por algún tipo de calamidad. El objetivo de los modelos planteados se enfoca en la minimización del tiempo de operación garantizando siempre la asistencia de toda la población afectada, no obstante el porcentaje de alivio por calamidad se considera como un indicador de efectividad de los modelos. Se toma como caso de estudio la inundación que sufrió el municipio de Santa Lucía en el departamento del Atlántico, Colombia en 2010.

#### **#105–A hybrid metaheuristic approach for the Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet and Sequential Loading Constraints (2L-HFVRP)**

*Luis Miguel Escobar Falcón, Technological University of Pereira,  
luismescobarf@gmail.com*

*David Alvarez Martinez, La Salle University, Bogotá,  
daalvarez@unisalle.edu.co*

*John Willmer Escobar, Pontificia Universidad Javeriana Cali,  
jwescobar@javerianacali.edu.co*

*Mauricio Granada, Universidad Tecnológica de Pereira,  
magra@utp.edu.co*

In this work, we present a hybrid metaheuristic approach for the 2L-HFVRP with sequential loading constraints. This problem combines two well-known NP-hard problems: the heterogeneous vehicle routing problem (HFVRP) and the two-dimensional sequential loading constraints problem (2L). The proposed approach for the considered problem uses a set of initial solutions generated by a constructive

algorithm trying to get the best solution for a TSP problem with the complete set of customers (without the consideration of the depot). In the proposed algorithm, we consider multiple starting points for solving a Minimum Spanning Tree (MST) problems within the initial solution procedure, i.e., the odd leaves of the MST problems, produces different TSP solutions with different objective functions, having between them the best solution that can find the constructive procedure. Then, a simulated annealing scheme improves the constructive algorithm for the customer's TSP. Therefore, the initial population is obtained for the following step of the proposed approach. A Chu-Beasley's Genetic Algorithm (GA) is used to improve the initial solution. In this stage, each one of the individuals considers the attention order of the customers by using the Prins-Liu encoding. The rest of the population consists of randomized and diverse attention orders. Once the initial population is complete, the objective function for each one of the individuals must be found. This process is performed solving a shortest path problem within the coverage digraph within the Prins-Liu encoding. In the proposed approach, the feasibility of the solutions respect to the loading constraints is checked by a specialized GRASP. The GRASP verifies if the demand of the customers belonging to a route must be placed in the fleet by considering sequential loading constraints and multidrop constraints. The search process is performed with five different recombinations methods (Stefan Jakobs crossover (SJX), Partially Matched Crossover (PMX), Order Crossover (OX), Cycle Crossover (CX), and Order Based Crossover (OBX)). In this case, the recombination methods are applied to the individuals containing an array with the attention order of the customers. Then, the packing feasibility of the new offspring is checked by the GRASP approach. The best individuals could be mutated with a randomized shaking procedure. The population is updated if better solutions are found. The proposed approach shows good quality results on benchmarking instances improving some of the best-known previous solutions.

#### **#106–Medición del riesgo en la planificación de despachos utilizando optimización estocástica**

*Yeny Carolina Rivera, Universidad del Valle,*

*Yeny.giraldo@correounivalle.edu.co*

*Andrés Felipe Salazar Ramos, Universidad del Valle,*

*Andres.f.salazar@correounivalle.edu.co*

Cuando una empresa tiene recursos limitados de distribución como la cantidad de camiones o la capacidad de los mismos, y además sus clientes se encuentran ubicados en lugares lejanos entre sí, demandando productos en cantidades distintas, es necesario definir a qué clientes atender primero y por qué (Bravo et al., 2010. Pag 2). Bravo y otros (2007) realizaron un estudio en el cual proponen indicadores para la priorización en transporte considerando criterios operativos y que analizados en conjunto, ayudan a determinar la prioridad de un envío. Bravo et al. (2010) comparan dos metodologías para priorizar los despachos en función del nivel de servicio al cliente cuando existen pedidos pendientes (Backorder).

Aun cuando se mencionan antecedentes que abordan la problemática, la incertidumbre de variables como la demanda dificultan aún más la priorización de los despachos. Riaño y Acero (2005) abordan la implementación y el análisis de un modelo de programación lineal para determinar el despacho de vehículos en un sistema de transporte masivo que considera variables estocásticas como la demanda y el tiempo de viaje.

En la presente ponencia de investigación se desarrolló un modelo de programación lineal entera mixta que considera el uso de recursos de transporte limitados priorizando los despachos y empleando la demanda como una variable estocástica. El modelo se caracteriza por ser multiproducto y multiperiodo, condiciones que permiten una adaptación más cercana a la realidad de una empresa, además la función de desempeño minimiza los Backorder en la planificación semanal.

El modelo es aplicado a un caso de estudio de un centro de distribución que planifica sus despachos al inicio de la semana para atender bodegas clientes con tiempos de entrega diferentes para cada uno, y

que realiza pedidos de varios productos durante la semana. Se conoce el inventario inicial de los productos en los clientes y el tamaño del pedido que realizan; así, el modelo elige qué producto enviar a un cliente en determinado día de la semana utilizando un camión específico. Se logra demostrar cómo la adecuada planificación y priorización de los despachos teniendo en cuenta condiciones estocásticas, ayuda a aprovechar los recursos de una mejor manera y a tener un nivel de servicio satisfactorio en toda la cadena de suministro. En el estudio también se realizó un análisis de sensibilidad que permite determinar el número de camiones que son adecuados dada la aleatoriedad de la demanda para el centro de distribución. Se logran establecer niveles de servicio superiores al 90% y se determina cuántos puntos porcentuales gana el centro de distribución alrededor de esta medida frente a la variación en costo que tendría si incrementa el número de camiones. Por otro lado el uso de optimización estocástica y en particular del método SAA (Sample Average Approximation) permite medir el riesgo del programa de despachos en relación al nivel de servicio y los costos por faltantes. Cabe resaltar que debido al tamaño del problema, para el caso de estudio empleado no se tuvieron complicaciones alrededor del tiempo computacional necesario para resolver el modelo.

#### **#107-Synthetic Generation of Weather Time Series for the Simulation of Forest Fires in Bogotá, Colombia**

*Carlos Alberto Sarmiento, Universidad de los Andes, Bogotá, ca.sarmiento1227@uniandes.edu.co*

*Raha Akhavan Tabatabaei, Universidad de los Andes, Bogotá, r.akhavan@uniandes.edu.co*

*Carlos Felipe Valencia, Universidad de los Andes, Bogotá, cf.valencia@uniandes.edu.co*

En diversas herramientas de modelaje de sistemas ambientales y ecológicos es necesario disponer de información acerca de variables meteorológicas proyectadas a futuro. En particular, en el contexto de la simulación de incendios forestales, con el fin de modelar adecuadamente la velocidad y dirección de propagación, es importante generar valores confiables de algunas variables dinámicas relevantes, como la velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, entre otras. Usar valores históricos no resulta suficiente para capturar la aleatoriedad de los procesos meteorológicos, por lo cual, es necesario disponer de una metodología que permita generar sintéticamente estos procesos estocásticos en función del tiempo.

El objetivo de este proyecto es desarrollar una metodología para generar sintéticamente series de tiempo de algunas de estas variables cada 10 minutos adoptando un enfoque probabilístico. La metodología propuesta toma información real recolectada por estaciones meteorológicas para ajustar las principales características aleatorias de los procesos meteorológicos relevantes. En particular, se busca que los datos repliquen el comportamiento probabilístico marginal del proceso aleatorio, así como las características de autocorrelación del mismo. Además de ello, se evaluará la capacidad del modelo para replicar parámetros importantes, como la media y la desviación estándar del proceso aleatorio.

Buscando obtener los mejores resultados posibles, diversos métodos serán implementados. Uno de ellos es la generación de velocidad y dirección del viento usando cadenas de Markov de primer y segundo orden. Esta metodología consiste en discretizar las variables en diferentes estados teniendo en cuenta su valor. Para la velocidad del viento se usaron 11 estados, donde cada uno corresponde a un intervalo de 1 m/s de amplitud. Por otro lado para la dirección del viento se usaron 8 estados de acuerdo a las direcciones geográficas naturales. Luego de clasificar todos los valores en estos estados, se estimaron las probabilidades de transición entre ellos, creando la matriz de probabilidades de transición. Finalmente usando esta matriz es posible generar series de tiempo usando números aleatorios. Los resultados preliminares han mostrado que la cadena de segundo orden modela, de una mejor manera que la de primer orden, la distribución marginal de probabilidad de los datos, así como la función de autocorrelación y parámetros como la media y la desviación estándar. La principal diferencia entre las dos cadenas es que la de segundo

orden tiene en cuenta el estado actual y el anterior para predecir el siguiente, mientras que la de primer orden tiene en cuenta únicamente el estado actual, y esto puede causar la diferencia observada en el desempeño de ambas cadenas. El trabajo futuro consiste en desarrollar nuevos modelos usando distribuciones de probabilidad que se ajusten a los datos, y modelos autoregresivos, con el fin de comparar los modelos, y decidir cual se debe aplicar para realizar la simulación de incendios forestales.

#### **#108-A sampling-simulation approach for the stochastic constrained shortest path problem**

*Sergio Cardenas, Universidad de los Andes, Bogotá, sh.cardenas1180@uniandes.edu.co*

*Daniel Duque, Universidad de los Andes, Bogotá, duque25@uniandes.edu.co*

*Andres Medaglia, Universidad de los Andes, Bogotá, amedagli@uniandes.edu.co*

Consider a variant of a Constrained Shortest Path Problem (CSP) in which the resource consumption at each arc is modeled as a random variable. It is constituted by a network defined as a graph composed by a set of nodes and set of arcs. Each arc is characterized by a source node, end node, a deterministic cost and a stochastic resource that is generally distributed (i.e, Normal, Lognormal, Exponential, etc). Additionally, Instead of accomplishing a deterministic resource constraint, we look for a path in which the probability of satisfying the maximum resource consumption is above a reliability threshold.

The challenge relapses in the unknown probability distribution of the resource consumption of the path. Therefore, to manage this problem we use a sampling-simulation approach by sampling the network. As a result we have several copies of our network, and the attributes on the arcs are represented by a deterministic cost and a deterministic resource which is a realization of the random variable. Then, we use the Pulse algorithm, which is an exact method to solve large-scale CSP, as our optimization engine and we executed it on each copy. Because we are interested in assessing the chance constraint, the reliability of every path is measured by means of a simulation procedure.

We conduct experiments on networks with up to 9.559 nodes and 39.377 arcs by varying the probability distribution, we found the path that minimizes the cost and satisfies the chance constraint with at least our reliability parameter.

We propose a sampling-simulation technique capable to solve the stochastic CSP where the stochastic parameters are going to be related with the resource constraint in a reasonable computational time.

#### **#109-A location-allocation model under uncertainty applied to disasters**

*Carlos Felipe Ruiz Salazar, Universidad de los Andes, Bogotá, cf.ruiz1135@uniandes.edu.co*

*Daniel Eduardo Suárez Bayona, Universidad de los Andes, Bogotá, de.suarez12@uniandes.edu.co*

*Raha Akhavan-Tabatabaei, Universidad de los Andes, Bogotá, r.akhavan@uniandes.edu.co*

*Andrés L. Medaglia Gonzalez, Universidad de los Andes, Bogotá, amedagli@uniandes.edu.co*

Cada año, desastres naturales (huracanes, tsunamis, terremotos, etc.) y desastres tecnológicos (colapso de edificaciones, catástrofes nucleares, etc.) causan millones de dólares en pérdidas y miles en pérdidas de vidas humanas.

En respuesta a estas amenazas, las comunidades alrededor del mundo preparan planes de almacenamiento de recursos que permiten una respuesta apropiada para estos desastres. Sin embargo, surge la duda de qué tanto y en qué lugares se deben almacenar estos recursos, ya que esta decisión no sólo determinará qué tan rápida es la respuesta, sino el costo monetario de prepararse y luego de atender la situación.

Para abarcar este problema, se propone un modelo de optimización neutral al riesgo en el cual se considera la fase de preparación y la fase de respuesta. Estas fases hacen parte del ciclo de manejo de operaciones de desastres (DOM). La primera fase es determinística, ya

que se tienen definidos los diferentes puntos en los cuales se pueden ubicar los centros de almacenamiento (estos puntos son elegidos por estar ubicados en lugares con bajos niveles de riesgo) y se define el nivel de inventario (correspondiente a suministros básicos en caso de emergencia tales como botiquines de primeros auxilios, agua, alimentos no perecederos, entre otros) se desea almacenar en cada uno de estos puntos. La segunda etapa posee un componente estocástico, ya que no se conoce el valor real de la demanda en cada uno de los puntos de riesgo. Esto se maneja con un conjunto finito de escenarios de demanda en caso de la ocurrencia de un desastre.

Debido a la existencia de componentes estocásticos, se desea medir e incorporar el riesgo de tal forma que el modelo pueda ser usado por decisores aversos al riesgo. En este caso el riesgo del modelo se gestiona con una medida de riesgo coherente denominada Expected Downside Risk (EDR), la cual considera desviaciones positivas (indeseables) con respecto a un parámetro de presupuesto. El problema de optimización con la inclusión del EDR se denomina en este trabajo modelo con aversión al riesgo. Este nuevo modelo representa una nueva alternativa a los modelos previamente propuestos en la literatura.

Se espera que el modelo con aversión al riesgo produzca resultados en promedio más costosos que el mismo modelo neutral al riesgo, debido a que el primero obliga a cumplir con cierto presupuesto para la fase de respuesta, con lo cual se espera que se abran más centros de almacenamiento (primera fase) para poder cumplir con las demandas de todos los puntos (segunda fase). De esta forma, se espera poder controlar la variabilidad del costo de la segunda fase, a costa del aumento de la inversión inicial por tener más centros de almacenamiento operando.

#### **#110-El contexto internacional de la Investigación de Operaciones: asociaciones, publicaciones y recursos disponibles**

*Javier Diaz, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, javidiaz@unal.edu.co*

*Luis Moreno, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, lfmoreno@unal.edu.co*

La Investigación de Operaciones tuvo sus orígenes como respuesta al estudio de problemas asociados a la defensa militar de la Gran Bretaña, durante el período previo a la Segunda Guerra Mundial, aplicando la Metodología Científica a lo que se llamó "Investigación de Operaciones Militares". En 1942, los Estados Unidos de América crearon grupos de Investigación de Operaciones en sus fuerzas armadas. El uso de estas metodologías se extendió a otros países como Canadá y Francia. En 1948 se abrió el primer curso formal de Investigación de Operaciones en el Instituto Tecnológico de Massachusetts. A partir de la década de los años 50, del siglo XX, empezaron las aplicaciones industriales y desarrollos notables en otras metodologías y temáticas de Investigación de Operaciones.

En 1948, se estableció en Londres el Club de Investigación Operativa. Cinco años más tarde se convirtió en la Operational Research Society (ORS). Entre 1950 y 1978, publicó el "Operational Research Quarterly" que luego se convirtió en el "Journal of the Operational Research Society", JORS. Publica, además, seis revistas especializadas.

La Sociedad Americana de Investigación de Operaciones, Operations Research Society of America (ORSA), fundada en 1952, se fusionó, en 1995, con The Institute of Management Sciences (TIMS) para formar el Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). Publica la Revista "Analytics" y 14 journals especializados. La Federación Internacional de Sociedades de Investigación de Operaciones, International Federation of Operational Research Societies (IFORS) es una organización paraguas, establecida en 1959, cuyos miembros son las sociedades nacionales de Investigación de Operaciones de más de cincuenta países, agrupadas en cuatro regiones geográficas, cada una con su propia asociación de sociedades nacionales, así: NORAM (Norte América: Estados Unidos de América y Canadá); EURO (Europa, incluyendo algunos países de África); ALIO (Latino-Ibero América); APORS (Región Asia Pacífico). Sus objetivos son alcanzados mediante: Publicaciones, Conferencias, Iniciativas Educativas, Boletines Electrónicos, Página web y Programas Especiales.

Publica las revistas ITOR y IAOR. EURO publica EJOR y tres especializadas.

Las páginas Web de estas Asociaciones son herramientas claves en la promoción internacional de la Investigación de Operaciones. Incluyen información sobre conferencias/talleres locales e internacionales, noticias sobre becas y concursos vigentes, premios, oportunidades laborales, actividades de las sociedades miembros, enlaces a sociedades nacionales y agrupaciones regionales. IFORS tiene, además, una página especial para Países en Desarrollo y ofrece, en línea, recursos educativos y de formación (videos, conferencias, diapositivas, libros, presentaciones y software) cuyo objetivo es reunir y hacer difusión de materiales de alta calidad, tales como casos de estudio, lecturas metodológicas y algoritmos computarizados.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una presentación del Contexto Internacional de la Investigación de Operaciones desde el punto de vista de sus Asociaciones de profesionales incluyendo sus principales actividades como publicaciones, congresos, seminarios y talleres. Se destacan los recursos disponibles que estas asociaciones ofrecen a sus afiliados tales como premios y distinciones, conferencias, tutoriales, ofertas laborales, iniciativas educativas como apoyo académico a educadores y estudiantes, página web de recursos educativos, programa de becarios jóvenes para asistir a Escuelas de Verano y Talleres.

#### **#111-Modelo de inventario multiproducto, con pronósticos de demanda y optimización bayesiana**

*Marisol Valencia Cárdenas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, mvalencia@unal.edu.co*

*Francisco Javier Díaz Serna, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, javidiaz@unal.edu.co*

*Juan Carlos Correa Morales, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, jccorrea@unal.edu.co*

En el actual contexto de globalización de las economías de mercado, de altos niveles de competencia y rápidos cambios en las preferencias de los clientes, debido a la creciente complejidad de las cadenas de suministro, es necesaria la aplicación de métodos más rápidos y eficientes para una adecuada toma de decisiones empresariales. Con respecto a los sistemas de inventario, algunos modelos de optimización usan técnicas estadísticas o de simulación con el fin de encontrar una solución óptima, o procedimientos heurísticos para buscar buenas soluciones, ya que no siempre es posible encontrar la óptima. Se considera una relación entre procedimientos heurísticos y metaheurísticos: "Una metaheurística es un proceso maestro iterativo que guía y modifica las operaciones de heurísticas subordinadas para producir de manera eficiente soluciones de alta calidad" (Silver, 2004). Valencia et al., (2014), usaron un algoritmo de Búsqueda Tabú para minimizar el costo de inventarios de la logística interna de una organización, y se encontraron menores costos, al comparar dicho método, con una política donde sólo se hicieron pronósticos de demandas con modelos ARIMA y Regresión en Series Temporales. Esta técnica de optimización se aplicó a los mismos productos, con igual temporalidad, y se encontró un ahorro del 20% en costos de inventarios y un servicio del 100%. Urrea y Torres (2006) usaron un algoritmo de Búsqueda Tabú con el fin de encontrar el nivel óptimo de pedidos. Jeyanthi y Radhakrishnan (2010) utilizaron algoritmos genéticos para la optimización de la cadena de suministro, en un escenario multi-producto (el cual no se trabaja con frecuencia en modelos de inventarios). Palacio y Adarme (2014) propusieron un modelo de inventario multiproducto, entre empresas, para minimizar los costos de logística en un contexto operativo de distribución urbana. En todos los casos citados, la demanda ha sido pronosticada, como se propone en este trabajo, seleccionando el mejor modelo, entre un ARIMA, uno de Suavización exponencial y dos basados en pronósticos bayesianos (Zellner, 1996).

En este trabajo se presenta un modelo de optimización de inventarios multi-producto de maximización de utilidades, mostrando en primer lugar, un método que permite elegir los mejores pronósticos de demanda de múltiples productos, entre los cuales se encuentran dos bayesianos. Segundo, para definir la política de pedidos, inventarios,

costos y ganancias, se utiliza una búsqueda bayesiana, que integra elementos de búsqueda Tabú para mejorar la solución. Dicho modelo se aplica a un caso de una estación de combustibles en Colombia.

**#114–Metaheurísticos híbridos para el problema de ruteo de vehículos con flota propia y subcontratación**

*Andrés Felipe Cañas Uribe, Universidad de Antioquia Medellín, andresfelipecaur@gmail.com*

*Juan G. Villegas R., Universidad de Antioquia, Medellín, juan.villegas@udea.edu.co*

*Jorge Mendoza, Université François-Rabelais de Tours, Francia, jorge.mendoza@univ-tours.fr*

El estudio del problema del ruteo de vehículos (VRP) con flota propia y subcontratación conocido como Vehicle Routing Problem with Private fleet and Common carriers (VRPPC) [1], surge debido a la tendencia de las empresas a tercerizar las operaciones de transporte, y aunque en muchos casos cuentan con una flota propia de vehículos, ésta no es suficiente para cubrir toda la demanda. En esta variante del VRP, se busca minimizar el costo global determinado por los costos asociados a la distancia total recorrida por cada vehículo, los costos asumidos por subcontratar algunos clientes, y los costos fijos de operación. El VRPPC se caracteriza por contemplar una flota propia y heterogénea con diferentes capacidades y costos de operación, y una demanda global que puede exceder la capacidad total de la flota. Teniendo en cuenta estos elementos se debe realizar un plan en el que cada vehículo realiza un único viaje, atendiendo un subconjunto de clientes cuya demanda no exceda su capacidad; garantizando que todas las rutas parten y terminan de una única terminal; y finalmente, que los clientes que no son atendidos por ningún vehículo de la flota propia son asignados al operador externo a cierto costo.

En este trabajo se implementaron un conjunto de heurísticos constructivos para abordar el VRPPC, de los cuales se seleccionó el que presentó un desempeño más eficiente tanto en calidad de soluciones como en tiempo computacional. Estos heurísticos están basados en una estrategia que calcula el arrepentimiento generado por haber subcontratado un cliente y no haberlo atendido por la flota propia; luego, se construyeron varios vecindarios de búsqueda local, que fueron hibridados individualmente con el heurístico constructivo, y posteriormente incluidos de manera conjunta en un variable neighborhood descent (VND). Se diseñó un GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) con la finalidad de diversificar el proceso de construcción. Además, se utilizó una formulación del VRPPC como un problema de partición de conjuntos como estrategia de post-optimización que permite mejorar el desempeño del GRASP.

**#115–Extending the Pulse Framework to Robust Shortest Path Problems with Side Constraints**

*Daniel Duque, Universidad de los Andes, Bogotá, d.duque25@uniandes.edu.co*

*Andrés Leonardo Medaglia González, Universidad de los Andes, Bogotá, amedagli@uniandes.edu.co*

The robust shortest path problem is a network optimization problem that deals with uncertainty on the parameters. Particularly, the source of uncertainty affects the cost of traversing any arc of the network, which means that the cost of a path is not explicitly defined. In this work, we adopt a scenario approach in which the cost of an arc falls on a discrete set of values. A scenario is defined as a realization of the uncertain parameter, and the objective is to find a path that is as good as possible in the majority of the scenarios. To solve this problem, we extend the pulse framework which is a general-purpose solution strategy for shortest path problems with side constraints. Computational experiments show a favorable comparison against a straightforward integer problem implementation, and a relative good performance over large-scale networks with up to 330,386 nodes and 1,202,458 arcs.

**#116–The pulse algorithm: a modular framework for hard shortest path variants**

*Leonardo Lozano, Clemson University, Clemson, USA, llozano@g.clemson.edu*

*Daniel Duque, Universidad de los Andes, Bogotá, d.duque25@uniandes.edu.co*

*Manuel A. Bolívar, Universidad de los Andes, Bogotá, ma.bolivar643@uniandes.edu.co*

*Andrés L. Medaglia, Universidad de los Andes, Bogotá, amedagli@uniandes.edu.co*

Solving practical applications arising on transportation and logistics often involves the solution of underlying large-scale network problems with shortest path structures. In this talk, we present the pulse framework which is an exact solution strategy for shortest paths problems with side constraints. The underlying idea of the framework is an implicit enumeration of the entire solution space supported by pruning strategies that efficiently discard a vast number of suboptimal solutions. The framework relies on general components that can be easily extended among different problems, and problem-specific components that are based on particular characteristics (i.e., network structure) of the problem at hand that can be used as modules. The shortest path variants in which we have successfully applied the framework are: the constrained shortest path, the biobjective shortest path, the elementary shortest path with resource constraints, the orienteering problem with time windows, and the weight-constrained shortest path with replenishment. Through the talk, we present key aspects of the framework for each application and outline research guidelines for other shortest path variants.

**#117–Revisión de la literatura sobre el problema de programación de “Flow Shop” Híbrido con máquinas paralelas no relacionadas**

*Luis Eduardo Pérez Figueredo, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, lpduardop@gmail.com*

*Eslendis Moratto Chimenty, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, esle1993@gmail.com*

*Edwin Alberto Garavito Hernández, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, garavito@uis.edu.co*

*Eliana Marcela Peña Tibaduiza, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, elmapena@uis.edu.co*

En los diferentes entornos de manufactura es frecuente encontrar el problema de asignar  $n$  trabajos a  $m$  etapas de procesamiento, donde cada una de ellas posee múltiples máquinas o estaciones de trabajo funcionando en paralelo, los cuales pueden ser idénticos, uniformes o no relacionados de acuerdo a la configuración tecnológica del sistema productivo; el propósito es encontrar una programación óptima que permita atender una función objetivo en particular, ya sea la reducción de tiempos de procesamiento, tiempo medio de flujo, número de trabajos tardíos, entre otros. Dicho problema conocido en la literatura como “Flow Shop” Híbrido ó “Flow Shop” Flexible, pertenece al área de investigación de la optimización combinatoria y es clasificado como “NP-hard” debido a que es poco probable que exista un algoritmo de tiempo polinómico capaz de calcular una solución óptima. Este artículo presenta una revisión de los más recientes trabajos desarrollados sobre este tema, además de una breve descripción del problema inicial y diferentes enfoques que puede tener en cuanto a medidas de desempeño evaluadas (tardanza, makespan, etc.). También se exploran los diferentes métodos de solución utilizados, tanto heurísticas, metaheurísticas y métodos exactos; para ello se tuvo en cuenta los artículos más relevantes encontrados en las diferentes bases de datos científicas especializadas en el tema, considerando las publicaciones realizadas en años recientes.

### #118-Análisis de sensibilidad del modelo newsvendor problem mediante simulación y desarrollo de escenarios

Paulo Machado, Universidad del Valle, Cali,  
paulo.machado@correounivalle.edu.co  
Hugo Gonzalez, Universidad del Valle, Cali,  
hugo.gonzalez@correounivalle.edu.co  
Carlos Rojas, Universidad del Valle, Cali,  
carlos.rojas.t@correounivalle.edu.co

El presente documento aborda la problemática de control de inventarios para ítems perecederos en una empresa hortofrutícola del Norte del Valle del Cauca mediante el Modelo del News Vendor Problem (NVP). De igual manera, el estudio tiene como finalidad realizar un análisis de sensibilidad del modelo frente a la variación de la demanda, la fijación del precio de los productos, costos de producción, la ocurrencia de faltantes y excedentes, empleando la simulación de escenarios con variables correlacionadas. La simulación pretende demostrar el comportamiento de las variables de entrada del modelo del vendedor de periódicos no-restringido (caso discreto), correlacionados con la variabilidad de índices económicos y demográficos que inducen el comportamiento pasado, presente y futuro de estas variables; permitiendo una aproximación real a los escenarios más probables a los que el modelo se enfrentará; analizando su impacto en la Utilidad Total Esperada.

Para el desarrollo de la simulación, primero se enuncian los inductores utilizados para variar el comportamiento de las variables de entrada del modelo del vendedor de periódicos. El índice de precios al consumidor (IPC) como inductor del precio de venta de los ítems, el cual mide la evolución del costo promedio de una canasta de bienes y servicios representativa del consumo final de los hogares, expresado en relación con un período base. Por otro lado, el índice de precios del productor (IPP) según la actividad económica, como inductor del costo de adquisición, el cual es un indicador de analiza la evolución de los precios de venta del productor, correspondientes al primer canal de comercialización o distribución de los bienes transados en la economía. El índice demográfico en series de Población, como inductor del valor por venta perdida, el cual proviene de los procesos de conciliación censal y proyecciones de población para el período 1985 - 2020, cuyas variaciones afectan la condición de consumo, por lo tanto, se puede generar la población desatendida en la compra de los productos, ocasionando faltantes. También, la inflación básica, la cual se relaciona entonces con la disminución de la demanda y el aumento en la oferta.

El output obtenido será al igual que en el modelo la utilidad esperada, permitiendo conocer bajo que probabilidad se obtendrá determinada utilidad, sometida a la turbulencia del escenario más probable. A su vez, dada la interactividad que permite el software seleccionado (Palisade Decision Tool @Risk version 6.3 - Trial Version), diseñado para el análisis de riesgo financiero, posibilita interactuar con el comportamiento de las probabilidades, explorando el valor de la utilidad esperada en múltiples circunstancias. El fin de la metodología es explorar dentro de que probabilidad de ocurrencia, se puede generar el nivel de utilidad esperada por el modelo NVP determinístico, dentro del escenario de juego del mercado colombiano en concordancia con los inductores seleccionados, para relacionar la variación de los parámetros que definen una posible utilidad esperada simulada con las condiciones del mercado, generando un nivel de servicio o fill rate aceptable para la empresa caso de estudio.

### #119-Método heurístico para la formación de clusters en productos hortofrutícolas

Paulo Machado, Universidad del Valle,  
paulo.machado@correounivalle.edu.co  
Hugo Gonzalez, Universidad del Valle, Cali,  
hugo.gonzalez@correounivalle.edu.co  
Pedro Medina, Universidad Tecnológica de Pereira, pemedin@utp.edu.co

En este artículo se presenta el diseño de una heurística de formación de clusters para establecer grupos desde una visión de la manufactura celular para una empresa hortofrutícola del Norte del Valle del Cauca. La cual busca dar respuesta al problema de la correcta disposición del

inventario en proceso y en tránsito, como las dos formas recurrentes de stock manejado por las empresas que poseen el canal de producción y comercialización de productos en fresco. La clasificación de los ítems resulta una tarea de apoyo en la gestión de productos perecederos, ya que existen múltiples factores que afectan de manera positiva y/o negativa en el aprovisionamiento, la gestión eficiente del inventario, el transporte y almacenamiento adecuado del cliente.

Cada grupo conformado se podrá enfocar en las necesidades de los productos pertenecientes a éste. En la empresa caso de estudio, algunos productos al llegar al proceso de selección requieren una condición de maduración que se ajuste a las características exigidas por el cliente; por ésta razón, el algoritmo de formación de clusters tiene en cuenta diversos factores como el Peso ponderado del ítem, el cual representa la importancia del producto para la empresa. Este parámetro determina la relación de precedencia entre los ítems, donde un ítem será primario cada vez que en el orden entregado por el valor del peso ponderado, un producto no asignado tenga mayor valor que los productos por debajo de éste; cada ítem primario pertenece entonces a un solo cluster y los productos secundarios integran a un solo cluster para dar cumplimiento a los parámetros tales como la condición de maduración, la sensibilidad del ítem al etileno y la capacidad de almacenamiento.

La condición de Maduración es el punto crítico de control para las empresas que comercializan en este sector durante todo el proceso, desde la cosecha, postcosecha y recepción del producto por los clientes. La condición de maduración se puede cumplir mediante múltiples factores, de los cuales sólo se tomará el que está relacionado con la factibilidad de agrupación denominado sensibilidad al etileno. La sensibilidad al etileno es uno de los factores que más afecta la maduración en las frutas; en el cual se pueden identificar tres casos, el primero donde el ítem es productor de etileno y le afecta el etileno, para el segundo el ítem no es productor y le afecta el etileno y en el tercer caso el ítem es productor y no le afecta el etileno. Finalmente, la capacidad de almacenamiento será el parámetro de control para la apertura a nuevos clusters, el cual se considera como el espacio de almacenamiento no asignado. El objetivo del algoritmo es entonces, la conformación de clusters integrados por un ítem primario que se escoge de mayor a menor valor en el margen del peso ponderado, al cual se le garantiza el cumplimiento de su condición de maduración, mediante la adición al cluster de ítems secundarios con condiciones de sensibilidad al etileno que maximizan o retrasan el efecto de este madurante.

### #120-Solución del CLRP usando técnicas de partición y aplicando un algoritmo genético modificado

Eliana Toro, Universidad Tecnológica de Pereira, elianam@utp.edu.co  
David Álvarez Martínez, La Salle University, Bogotá,  
daalvarez@unisalle.edu.co  
Ramón Alfonso Gallego Rendón, Universidad Tecnológica de Pereira,  
ragr@utp.edu.co

El problema de localización y ruteo capacitado, Capacitated Location Routing Problem (CLRP) se considera NP-hard debido a que combina dos problemas el Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) y el Capacitated Facility Location Problem (CFLP). En este artículo es presentada una idea basada en agrupamiento, en la cual el espacio de solución es dividido en k subespacios con el fin de facilitar el proceso de optimización. La integración de los subespacios se realiza usando un algoritmo genético modificado y la optimización de los subespacios se lleva a cabo con el algoritmo Variable Neighborhood Search (VNS). La metodología propuesta aplica un principio de descomposición para dividir el espacio de búsqueda en k subespacios. El proceso inicia con el agrupamiento de depósitos y clientes. En el caso de los depósitos usa una técnica de clusterización y para asociar los clientes a los depósitos usa la técnica de ahorros. Esta técnica es modificada para los casos en que existan más de un depósito. De esta forma el espacio de solución queda dividido en k subespacios, correspondiendo a cada uno de estos, uno o más depósitos y los clientes asociados. Los clientes asociados a los subespacios son clasificados como fijos y transferibles entre

subespacios vecinos. El número de clientes transferible es variable y depende del ancho de la franja seleccionada entre los subespacios.

El problema de la relocalización de los clientes transferibles entre subespacios de solución es resuelto usando un algoritmo genético modificado, denominado método de Chu-Beasley. Los operadores cruzamiento y mutación tienen como función principal la de reubicar de forma óptima los clientes que fueron declarados transferibles. El problema de optimización de los  $k$  subespacios es resuelto usando el algoritmo VNS. A pesar de presentarse dos tipos de infactibilidades, estas son de fácil manejo. La primera por duplicación o desaparición de clientes transferibles. Esta infactibilidad es fácilmente reparada, ya que son identificados en las fronteras entre los subespacios. La segunda infactibilidad por excesos de carga en depósitos y vehículos, es llevada en cuenta en la función objetivo como un tipo de penalización. Este factor de penalización guarda relación con el costo/capacidad del depósito y/o vehículo. El proceso termina después de un número determinado de generaciones o de no obtener mejora en la solución.

El algoritmo propuesto es estructurado así:

- 1) Solución inicial (clusterización de depósitos y clientes)
- 2) Identificación del subespacios (vecinos y fronteras)
- 3) Identificación de clientes vecinos entre los subespacios (ahorros modificado)
- 4) Generar población inicial
- 5) Proceso de selección
- 6) Cruzamiento y mutación
- 7) Etapa de mejoramiento (VNS)
- 8) Criterio de aceptación de las soluciones en la población
- 9) Criterio de parada, caso contrario regresar al paso 5.

En estudios computacionales preliminares fueron usados casos de prueba de la literatura especializada observando así el desempeño tanto en calidad de la solución como en tiempo de cómputo con relación a las mejores soluciones reportadas (BKS, Best known solution).

#### #121- Algoritmo ILS usando estrategias de clusterización en la solución del problema CLRP

*Eliana Toro, Universidad Tecnológica de Pereira, elianam@utp.edu.co*  
*David Alvarez Martinez, La Salle University, Bogotá,*  
*daalvarez@unisalle.edu.co*

*Ramon Gallego, Universidad Tecnológica de Pereira, ragr@utp.edu.co*  
*Frederico Gadelha Guimaraes, Universidade Federal de Minas Gerais,*  
*Brasil, fredericoguimaraes@ufmg.br*

El principal objeto de este estudio se centra en la exploración de metodologías de solución para resolver el problema de localización de centros de distribución, ligada a la solución del problema de ruteo de los vehículos que deben atender un conjunto de clientes con una demanda determinada. Este problema es denominado como ruteo y localización capacitada, conocido en la literatura como Capacitated Location Routing Problem (CLRP). Las características del problema consideran aspectos como: i) Visitar cada cliente una única vez; ii) Considerar los depósitos y vehículos con capacidad limitada; iii) Determinar que depósitos deben ser abiertos entre un conjunto de depósitos candidatos; iv) Determinar las rutas de tal forma que se minimice la distancia total recorrida por los vehículos, teniendo como objetivo garantizar una operación que cumpla con los requerimientos y a costo mínimo.

En este estudio se presenta una metodología para resolver problemas del tipo CLRP, como primer paso se usan conceptos de clusterización, esto con el fin de identificar grupos de depósitos y clientes, en un determinado radio de acción. Los clientes son clasificados como fijos al clúster o transferible (frontera) entre clústeres vecinos. Para la solución se usa el algoritmo Iterated Local Search (ILS). La estructura de la metodología propuesta consta de una etapa de construcción y un proceso iterativo de perturbación y búsqueda local.

La metodología inicia con un proceso de clusterización de depósitos, basado en la cercanía entre ellos. Luego, a cada clúster se le asigna un conjunto de clientes usando el método de asignación por urgencias. Por último, una vez conformados los clústeres se les aplica una técnica heurística basada en el método de ahorros para identificar las rutas

iniciales. De esta forma se constituye una solución inicial para el problema, conformada por  $k$  clústeres.

Se estiman las distancias entre los centros de los clústeres con base en la localización de los depósitos. Con estas distancias las fronteras son definidas y son identificados como clientes vecinos los nodos cercanos a estas. Al final se establece una lista de clústeres que comparten vecinos y clientes que guardan cercanía a esa frontera.

El algoritmo ILS es implementado en función de dos mecanismos, el primero es la diversificación, que se lleva a cabo a través de perturbaciones. El segundo, es la intensificación mediante un procedimiento de búsqueda local utilizando un esquema de Variable Neighborhood Search (VNS). Las perturbaciones consisten en transferencia de clientes vecinos entre clústeres denominados frontera. Mientras que la intensificación es definida como la aplicación estructurada de los operadores clásicos inter-ruta e intra-ruta. De esta forma se pasa de una solución a otra verificando los criterios de mejoría y factibilidad. El proceso iterativo termina después de un número máximo de iteraciones, o de no existir mejora en la solución actual.

Para analizar el desempeño del comportamiento de la metodología propuesta, fue usado un conjunto aleatorio de instancias de la literatura especializada para validar tanto la calidad de las soluciones obtenidas como los tiempos computacionales utilizados.

#### #122-Evaluating Route Reliability for the Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP) with Correlated Parameters

*Andres Sarmiento, Universidad de los Andes, Bogotá,*  
*a.sarmiento64@uniandes.edu.co*

*Carlos Felipe Ruiz Salazar, Universidad de los Andes, Bogotá,*  
*cf.ruiz1135@uniandes.edu.co*

*Raha Akhavan Tabatabaei, Universidad de los Andes, Bogotá,*  
*r.akhavan@uniandes.edu.co*

*Andres Medaglia Gonzalez, Universidad de los Andes, Bogotá,*  
*amedagli@uniandes.edu.co*

*Jorge Mendoza, Université François-Rabelais de Tours, Francia,*  
*jorge.mendoza@univ-tours.fr*

Reliable vehicle routing problems consist of designing dependable transportation routes of minimal expected cost over a network where some parameters are represented by random variables. In this work we consider the case in which random variables describing travel times may be correlated.

We propose a flexible methodology to effectively handle any travel time distribution and correlations to evaluate the probability that a route duration would be less than a given threshold. The evaluator computes the moments of the distribution of the route duration and finds a distribution with similar moments for which we have a closed form expression to compute performance measures. We propose the use of Phase Type distributions to model travel time distributions because of their modeling flexibility and closure properties.

A route generator engine is presented to measure the performance of the evaluator and a benchmark method is proposed to measure its behavior. The performance of the evaluators is measured both by accuracy and computational time required for evaluation. We iteratively simulate synthetic instances testing the performance of the methodology under many configuration. Evaluators that assume independence are also included into the experiments to measure the impact of disregarding correlation.

Our results shows that, in scenarios where some of the edges are highly pairwise correlated, the proposed methodology outperforms evaluators that assume independence. In scenarios where correlation is close to zero, the accuracy of our evaluator is below but close to the benchmark evaluators which are designed to assume independence.

**#124-Modelación de la planeación de la oferta en el proceso de S&OP**

*Juan Sebastian Montoya, Universidad EAFIT, Medellín, jmonto41@eafit.edu.co*  
*Carlos Alberto Castro, Universidad EAFIT, Medellín, ccastro@eafit.edu.co*

La planeación de ventas y operaciones (S&OP por sus siglas en inglés) está definida en la novena edición del diccionario de APICS como “el proceso que provee a la administración la capacidad de dirigir estratégicamente su negocio para lograr una ventaja competitiva de forma continua, esto mediante la integración de los planes de mercadeo centrados en el cliente para productos nuevos y existentes con la administración de la cadena de abastecimiento”. Las empresas que han implementado el proceso de S&OP han encontrado que este les ofrece la oportunidad de anticiparse a la demanda de sus clientes, logrando así una mayor eficiencia en inventarios y en costos operacionales. El proceso de S&OP se realiza a nivel agregado por familia de productos y en dos grandes etapas: La primera etapa es la planeación de demanda en la que se definen los pronósticos de ventas para cada familia de productos y en un horizonte de tiempo de 12 a 18 meses generalmente, la segunda etapa es la de planeación de la oferta en la cual se establece la forma de disponer los recursos con el fin de cumplir el plan de demanda de forma eficiente en los costos. Idealmente todas las etapas del proceso de S&OP deben estar apoyadas en herramientas informáticas que faciliten la toma de decisión del personal administrativo de las Empresas, sin embargo, la mayoría de software para S&OP se concentran en la planeación de demanda, el análisis financiero o del requerimiento de materiales, no obstante la planeación de la oferta aún se realiza generalmente en hojas de cálculo planas lo que se ha empezado a considerar como inconveniente debido a que las Empresas en el contexto actual, requieren de algunas capacidades que una hoja cálculo no puede brindar. Con el fin de que las Empresas puedan contar con una herramienta tecnológica que les permita realizar la planeación de la oferta de una mejor forma a como se haría en una hoja de cálculo, se está diseñando un sistema de apoyo de decisiones que hará uso de modelos matemáticos para la minimización de los costos relevantes asociados a la planeación de la oferta. El objetivo de este trabajo es presentar el modelo matemático incorporado en sistema de apoyo de decisiones y la metodología con la que se procedió para la solución del mismo.

**#125-Modelo de toma de decisiones para el tratamiento de pacientes colombianos con cáncer de seno**

*Julian David Coy Ulloa, Universidad de los Andes, Bogotá, jd.coy1674@uniandes.edu.co*  
*Raha Akhavan-Tabatabaei, Universidad de los Andes, Bogotá, r.akhavan@uniandes.edu.co*  
*Shengfan Zhang, University of Arkansas, USA, shengfan@uark.edu*

Con el desarrollo del presente proyecto, se espera proporcionar a médicos oncólogos una herramienta que soporte sus decisiones de asignación del tratamiento de cada paciente con cáncer de seno en Colombia. La herramienta se basa en un Proceso de decisión Markoviano (MDP) de horizonte finito que mediante programación dinámica da como resultado una propuesta del tratamiento óptimo que la mujer debería seguir de acuerdo a su edad, estado del cáncer (in-situ o invasivo), y sus preferencias personales en cuanto a los efectos colaterales de su tratamiento (fatiga, apariencia, dolor en general y recurrencia).

En cuanto al trabajo previo a este proyecto, Zhang and Ivy (2012) plantearon un Proceso de decisión Markoviano de horizonte finito cuya cadena de Markov de tiempo discreto asociada se basa en la transición entre cuatro estados del paciente: libre de cáncer, con cáncer in-situ, con cáncer invasivo y muerte.

Aunque dicho proceso incluye la reversión espontánea de la enfermedad (pasar de cáncer in-situ a libre de cáncer por razones naturales), asume una lectura perfecta de las mamografías y usa QUALYS como los retornos inmediatos del paciente al recibir cada tratamiento. Por lo anterior, se decidió realizar extensiones que incluyen:

1. La relajación del supuesto de lectura perfecta, es decir, se incluyó el error tipo II asociado a la mamografía. El error Tipo II es un resultado negativo falso en la interpretación de una mamografía (Gur, y otros, 2005).
2. El cambio de QUALYS a “life score” como medida de los retornos inmediatos. El “life score” es una medida para maximizar la calidad y cantidad de vida de cada paciente, considerando también su opinión frente a efectos colaterales como cambios en apariencia, cansancio, dolor general y recurrencia.
3. La inclusión de distintas combinaciones de tratamientos.

El modelo se encuentra implementado y se obtienen resultados consistentes con la realidad. Actualmente, se está realizando un análisis de sensibilidad a la implementación del “life score” para encontrar y corregir las fallas que se presenten. Además, el modelo no cuenta con una población objetivo para su análisis concreto, por lo que uno de los propósitos actuales es conseguir datos reales para poder hacer análisis estadísticos, y de esta forma mejorar los datos de entrada y alcanzar una robustez apropiada.

**#126-Simulación discreta de una línea de ensamble tipo bucket brigades implementada en un laboratorio lúdico de ingeniería industrial**

*Kelly Andrea Peláez Mejía, Universidad del Valle, Cali, kelly.pelaez@correounivalle.edu.co*  
*Jorge Luis Payán Quevedo, Universidad del Valle, Cali, jorge.luis.payan@correounivalle.edu.co*  
*Andrés Felipe Salazar Ramos, Universidad del Valle, Cali, andres.f.salazar@correounivalle.edu.co*

Según Carlo y otros (2013) el caso más estudiado de un sistema productivo es el problema de balancear una línea, que busca lograr la asignación óptima de los recursos obteniendo mejoras en el desempeño de la misma. Actualmente la mayoría de las empresas utilizan métodos tradicionales de balanceo, a pesar de que éstos son inflexibles, no se adaptan fácilmente a la demanda cambiante (Bratcu y Dolgui, 2005) y organizan a los trabajadores en puestos fijos para realizar sus tareas (Bartholdi y Eisenstein, 1994). Recientemente algunas empresas han sustituido los métodos tradicionales de balanceo de línea por nuevos métodos que permitan abolir la asignación fija de trabajo. En este sentido logra relevancia el estudio de metodologías como el Bucket Brigades (BB). La técnica BB descentraliza la línea de producción y coordina el ensamble del producto progresivamente con los trabajadores de la línea disponibles. Para esto cada trabajador debe seguir una regla: cuando el último trabajador complete una tarea, éste debe regresar y hacerse cargo de la tarea de su antecesor; a su vez el trabajador que acaba de ser interrumpido vuelve atrás y toma la tarea de su antecesor y así sucesivamente a lo largo de la línea hasta que el primer trabajador ingresa materia prima (Bartholdi y Eisenstein, 2000). Si esta regla se cumple surgirá espontáneamente la partición de las cargas de trabajo en las estaciones y el Throughput convergerá a un valor máximo posible y estable (Bartholdi y Eisenstein, 1994). En el 2005 Quiroz realizó la única implementación documentada y conocida del método en Colombia, estudiando los efectos de la implementación del BB sobre el Throughput, secuenciando los trabajadores bajo un criterio llamado velocidad relativa. En el 2014 Saucedo y Tigreros discutieron dos criterios de secuenciación de trabajadores para la aplicación del BB: por tiempo de procesamiento por estación y por la velocidad relativa estudiada por Quiroz, demostrando que el Throughput obtenido con el primer criterio fue mayor que el registrado con el segundo. En la presente ponencia de investigación se analizó un caso de estudio con el cual se recreó una línea de ensamble de cuatro trabajadores, secuenciada mediante dos métodos diferentes y balanceada bajo la metodología BB. Un primer escenario del caso de estudio se recreó en un laboratorio lúdico de Ingeniería Industrial, considerando el factor cansancio de los trabajadores al simular el proceso durante una hora. El segundo escenario se planteó utilizando el software Arena, donde se modificó la regla base del BB impidiendo la interrupción entre trabajadores y obligando al trabajador a realizar la tarea en proceso de su antecesor. Se concluye que la metodología es

más eficiente permitiendo la interrupción entre trabajadores, donde se observó un aumento del Throughput del 68%. Así mismo se observa que, bajo el primer escenario, la mejor secuenciación fue la obtenida por el criterio de velocidad relativa. Además se observó que, en el segundo escenario, la ociosidad del trabajador debida a la espera de trabajo en proceso, es un factor determinante en la disminución del Throughput de la línea.

**#127-Modelo de programación lineal entera para un canje de “suertes” de caña de azúcar**

*Mariela Galindo, Universidad Santiago de Cali, mariegaba@gmail.com*  
*Carlos Julio Vidal, Universidad del Valle, Cali, cjvidal41@hotmail.com*

El cluster o sector de Bioenergía del Valle del Cauca presenta características atractivas para su desarrollo debido a la importancia de la industria azucarera en la región. El crecimiento de esta actividad durante los últimos años alcanza los mayores promedios frente a los demás tipos de generación energética: 16.5% en su capacidad y 25.6% respecto a la generación entre 2010 y 2014. En el año 2013, según Asocaña (Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia), se produjeron 387,9 millones de litros de bioetanol. La capacidad instalada actualmente es de 1.25 millones de litros; sin embargo, próximamente entrarán en producción nuevas plantas que incrementarán la oferta de etanol hasta en un 40%. El Valle del Cauca es el departamento más importante de producción de caña de azúcar en Colombia, por lo tanto, la generación de energía a partir de la biomasa es una oportunidad única de inversión, siendo el crecimiento de esta actividad en la región la que alcanza los mayores promedios frente a los demás tipos de generación energética durante los últimos años. Ante esta búsqueda el gremio azucarero ha sido abierto a incorporar conceptos y herramientas logísticas que le permitan un mejor desempeño. Dentro de estos se encuentra su continua preocupación por los costos logísticos sobre todos aquellos asociados con el transporte debido a varios factores como: los altos costos del combustible, peajes en vías de tránsito de los remolques, impuestos por los vehículos, capacidad de los vehículos, etc., en cualquier eslabón de su cadena de suministro. En busca de reducir los costos asociados al transporte, en el primer eslabón de la cadena, y más precisamente del transporte necesario para llevar la caña inmediatamente después de ser cortada hasta el ingenio, es decir en el proceso de cosecha (corte, alce y transporte) dos ingenios del Valle del Cauca practican de manera empírica un canje de “suertes” entre ellos, buscando reducir los costos de transporte asociados a la cosecha de dichas suertes; debido a que sus suertes se encuentran, en algunos casos, a menores distancias del ingenio a quien no pertenece la “suerte” y muy lejos del otro ingenio que sí es su dueño.

**#128-Simulación Montecarlo aplicada a la planificación de la producción integrada: del Programa Maestro de Producción (MPS) a la Planeación de Requerimiento de Materiales (MRP)**

*Sandra Marcela Mera Franco, Universidad del Valle sede Buga, sandra.mera@correounivalle.edu.co*  
*Jose Alejandro Velandia Solarte, Universidad del Valle sede Buga, jose.velandia@correounivalle.edu.co*  
*Andres Felipe Salazar Ramos, Universidad del Valle sede Buga, andres.f.salazar@correounivalle.edu.co*

Krajewski & Ritzman (1990) definen el plan maestro de producción (MPS) como un plan detallado que establece cuántos productos finales serán producidos y en qué periodo de tiempo. Como Murthy (2005) menciona, el MPS considera cambios en la capacidad, cambios de inventario de producto terminado y variaciones en la demanda, lo que hace que se formalice el plan de producción para convertirlo en requisitos de material y requerimientos de capacidad. Sipper & Bulfin (1998), afirman que desglosar el MPS en un programa de producción para cada componente final se logra mediante la planeación de requerimiento de materiales (MRP). Este último determina los requerimientos de materiales y los tiempos para cada etapa de producción, considerando productos complejos. La incertidumbre es un factor clave de gran incidencia sobre el funcionamiento interno del

MPS y el MRP, ya que algunos de sus parámetros de mayor relevancia provienen de información estocástica. Poler&García (2008) indican que los modelos para la planificación de la producción que no reconocen la incertidumbre pueden generar decisiones de planificación inferiores en comparación con los modelos que toman explícitamente la incertidumbre. En estudios como el que realizó Cano (2011) acerca del sistema MRP con incertidumbre basada en problemas de producción real, se demuestra la importancia de los cambios en el costo total tomando en cuenta parámetros expresados con lógica difusa. Para la presente ponencia de investigación, se realizó un análisis de la planeación de producción (MRP y MPS) desde la simulación Montecarlo, considerando las incidencias de las variables estocásticas en los costos totales de producción y el nivel de servicio. Para el caso de estudio se tomó una empresa manufacturera que fabrica dos productos modelos los cuales tienen un total de ocho materiales para su ensamble final, dichos productos consideran un pronóstico de la demanda a corto plazo, pedidos en curso y tiempo de suministro de los proveedores, que fueron los elementos de entrada que se tomaron como variables. Se analizaron los problemas que puede tener la empresa para cumplir sus pedidos y la dependencia que existe con los proveedores que puede afectar gravemente el tiempo de suministro para los clientes finales. El caso de estudio se simuló en @Risk, inicialmente se generan las distribuciones sobre las variables de salida para cada escenario estudiado, al generar 1706 iteraciones con todos los parámetros variables, se obtiene como resultado que en el 95% de las veces los costos totales no superan los 3625 millones, afectado principalmente por la aleatoriedad de los pedidos en curso de la planta y en menor medida por la revisión de ventas a corto plazo. En el nivel del servicio promedio se encontró que el 90% de las veces este es mayor del 97,27%, afectado principalmente por la previsión de ventas a corto plazo y los pedidos en curso del producto 1. La simulación Montecarlo ayuda al planificador a identificar los elementos que más afectan los costos totales y el nivel de servicio que arroja el plan de producción, para que actúe con anterioridad y mejore lo esperado.

**#129-Simulación para reducir pérdida de pacientes en el área de urgencias de una Institución Prestadora de Servicios**

*Daniel Alfonso Mendoza Casseres, Universidad del Atlántico, Barranquilla, danielmendoza@mail.uniatlantico.edu.co*  
*Ronald Andrés Corcho Martínez, Universidad del Atlántico, Barranquilla, rcorcho@mail.uniatlantico.edu.co*  
*Alejandra Berdugo Alonso, Universidad del Atlántico, Barranquilla, alejaberdugo0292@gmail.com*

Las urgencias se presentan en las Instituciones Prestadoras de Servicios (IPS) cuando los pacientes llegan con problemas médico-quirúrgicos agudos de enfermedades que requieren respuesta en la atención por poner en riesgo un órgano, alguna función de la persona o la vida. Uno de los problemas frecuentes que se exteriorizan en las instituciones corresponde a los altos tiempos de esperas en las colas, las cuales pueden agravar el estado de salud de los pacientes. Sin embargo, desde el punto de vista institucional existen otras problemáticas relacionadas con los procesos de atención y el efecto que estos tienen sobre las finanzas de la organización. En una IPS se logró observar que la organización no lograba atender a sus pacientes de urgencias, conllevando a que estos fueran remitidos a otras instituciones afectando las finanzas organizacionales. Adicionalmente, se evidenciaron quejas por parte de los médicos especialistas porque al ser solicitados por la IPS para la atención de pacientes no contaban con las condiciones de lugar y tiempo necesarias para dar una adecuada atención a los usuarios. Este estudio evalúa el comportamiento actual del área de urgencias en una Institución Prestadora de Servicios en el departamento del Atlántico, utilizando la simulación discreta. Se representan a los diversos tipos de pacientes como las entidades que poseen atributos como situaciones de urgencia, triage, edad, sexo, entre otras. Se define el número de tipos de pacientes dentro de la Institución Prestadora de Servicios como las variables de estado. Se utilizó el Software de simulación 3D Flexsim 7 para modelar el sistema, a su vez la herramienta estadística Experfit para analizar los datos de

entrada y el instrumento Experimenter para realizar y valorar los diferentes escenarios. Se evaluaron diferentes contextos al implementar el triage, asignar horarios de médicos y especialistas así como la asignación de los recursos necesarios en los procesos de atención. Los resultados obtenidos de la simulación muestran que se disminuyen sustancialmente los pacientes remitidos a otras instituciones aumentando de esta forma los ingresos financieros de la institución. Además, se evidenció una mejor forma de programar especialistas en las urgencias y a su vez una reducción en los tiempos de espera para los pacientes.

**#130-Consideraciones de riesgo en optimización estocástica: caso aplicado a un modelo integrado producción-distribución**

*Yujak Stiwár Vélez, Universidad del Valle, Buga,  
yujak.velez@correounivalle.edu.co  
Hernán Penagos, Universidad del Valle, Buga,  
hernan.penagos@correounivalle.edu.co  
Andrés Felipe Salazar Ramos, Universidad del Valle, Buga,  
andres.f.salazar@correounivalle.edu.co*

El problema de la distribución física de productos a través de una cadena de suministro se puede modelar como una decisión integrada entre las cantidades a producir y las cantidades a distribuir a los distintos eslabones involucrados. Los modelos integrados producción-distribución han sido estudiados recientemente por la academia y la industria con el objetivo de optimizar el uso de los recursos (Fahimnia, Farahani, Marian, & Luong, 2012). Históricamente la optimización se ha restringido a problemas que no consideran incertidumbre, es decir, problemas donde se supone que los datos de entrada se conocen con certeza. Los ambientes estocásticos están presentes en todos los sistemas, y en particular las cadenas de suministro que consideran la integración de varios agentes para llevar un producto a los puntos de consumo. Las actividades de las cadenas de suministro no son ajenas a las dificultades derivadas de la incertidumbre, por tanto el estudio del problema de distribución de productos en modelos de programación matemática producción-distribución por medio de optimización estocástica se considera un tema interesante de análisis y discusión. El problema producción-distribución ha sido estudiado por diversos autores entre los que se destacan Young Hae & Sook Han (2002) los cuales buscan minimizar los costos asociados a la fabricación, mantenimiento y transporte de productos de los tres eslabones presentes en el sistema Producción Distribución, teniendo en cuenta restricciones de capacidad. El modelo estudiado por estos autores es adaptado en la presente ponencia de investigación con el objetivo de estudiar la demanda como variable estocástica y el efecto que tiene su comportamiento sobre el sistema. El modelo contempla la distribución de tres tipos de productos a través de una red conformada por una planta de producción, un punto de almacenamiento intermedio, cuatro almacenes y cuatro detallistas. Los autores han adaptado algunas de las restricciones del modelo para que el caso sea más general al no considerar un detalle en la programación de los talleres de producción. El modelo de programación matemática estudiado es analizado bajo la metodología Sample Average Approximation (SAA) la cual es utilizada para la resolución de problemas de optimización estocástica. En esta técnica, la función objetivo se aproxima por una estimación promedio obtenida de una muestra aleatoria, la muestra resultante promedio es tomada para su posterior solución por medio de metodologías de optimización determinística, este proceso es repetido con muestras diferentes para obtener soluciones con estimaciones estadísticas. Actualmente el modelo ha sido programado en el software LINGO 9.0 y se está implementando una interfaz con Microsoft Excel para realizar las pruebas estocásticas al modelo. Dentro de los principales puntos de análisis en los resultados esperados se encuentran: el uso de capacidad en cada eslabón, el análisis de las cantidades a enviar de cada producto a través de la red, así como el nivel de servicio obtenido según los cambios en las demandas de entrada.

**#131-A hybrid metaheuristic approach for the Capacitated Vehicle Routing Problem with Container Loading Constraints**

*David Alvarez Martinez, La Salle University, Bogotá,  
daalvarez@unisalle.edu.co  
Luis Miguel Escobar Falcón, Technological University of Pereira,  
luismescobarf@gmail.com  
John Willmer Escobar, Pontificia Universidad Javeriana, Cali,  
jwescobar@javerianacali.edu.co  
Mauricio Granada, Universidad Tecnológica de Pereira,  
magra@utp.edu.co  
Rodrigo Linfati, Universidad del Bio-Bio, Chile, rodrigo@linfati.cl*

In this work, we present a hybrid metaheuristic approach for the 3L-CVRP. The proposed approach uses an initial solution obtained by a modified Clark & Wright algorithm by considering the packing constraints by a GRASP scheme. Then, a Granular Tabu Search (GTS) algorithm is used to improve the initial solution, meanwhile the GRASP approach validates the constraints during the whole search process. The proposed algorithm has been compared with the most effective algorithms proposed for the 3L-CVRP.

**#132-Integrando la cadena de suministros de dos eslabones a través del problema de ruteo de inventarios**

*Elsa Barragán Pineda, Universidad Industrial de Santander,  
Bucaramanga, elsabar2@hotmail.com  
Leidy Johana Romero Cuervo, Universidad Industrial de Santander,  
Bucaramanga, johanaromero2012@gmail.com  
Javier Arias-Osorio, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
jearias@uis.edu.co  
Henry Lamos Díaz, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
hmos@uis.edu.co*

Este trabajo aborda la integración de una cadena de suministros de dos eslabones considerando un modelo de ruteo de inventarios (IRP, por sus siglas en inglés) donde en un horizonte de planeación, las demandas del cliente pueden ser satisfechas antes o en el periodo que se causan, distribuyendo los costos de mantener inventario entre los dos agentes de la cadena. Se realizan experimentos computacionales analizando las condiciones del modelo y la aplicación sobre el mismo de técnicas de optimización tanto heurísticas, como metaheurísticas.

**#133-Integración de la cadena de suministro de dos eslabones a través del problema de secuenciación de la producción y distribución**

*Karen Silvana Carrillo Carreño, Universidad Industrial de Santander,  
Bucaramanga, karensilvana15@gmail.com  
Yeidy Cardozo, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
yeidycm@gmail.com  
Javier Arias-Osorio, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,  
jearias@uis.edu.co  
Carlos Eduardo Díaz Bohórquez, Universidad Industrial de Santander,  
Bucaramanga, cediazbo@uis.edu.co*

Este trabajo se enfoca en analizar la integración de dos eslabones de la cadena de suministros a través del problema de secuenciación de la producción y distribución (PSD, por sus siglas en inglés) donde en un horizonte de planeación, la cantidad a producir en la planta de cada uno de los tipos de productos demandados por los centros de distribución son satisfechos en el periodo y distribuidos a partir del diseño de rutas. Se realizan experimentos computacionales analizando la integración de las actividades en un solo modelo y el comportamiento de los modelos de producción y distribución por separado. Aplicando sobre los diferentes escenarios, técnicas de optimización tanto heurísticas, como metaheurísticas.

**#134-Análisis de cuellos de botella en modelos de programación matemática de sistemas producción-distribución**

*Andrés Felipe Salazar Ramos, Universidad del Valle,  
andres.f.salazar@correounivalle.edu.co  
Juan José Bravo Bástidas, Universidad del Valle,  
juan.bravo@correounivalle.edu.co*

Roser et al. (2002) manifiestan que todos los sistemas de manufactura están gobernados por una restricción y que mejorar el cuello de botella implica una mejora para el sistema en sí. Sin embargo, determinar el cuello de botella no es una tarea fácil, más si se tiene en cuenta que el sistema puede cambiar debido a sus eventos aleatorios (Lawrence & Buss 1996). En los modelos de programación matemática que integran las decisiones del área de producción y del área de distribución se consideran normalmente restricciones de capacidad, ya sea en cuanto a los recursos de fabricación o los recursos necesarios para distribuir los productos. De manera concreta, en los modelos de programación matemática es posible establecer los cuellos de botella y en el análisis postóptimo, bajo ciertas condiciones (por ejemplo en soluciones no degeneradas), cuál es el beneficio obtenido en la medida de desempeño del modelo si se altera la disponibilidad de un recurso cuello de botella. Los precios sombra de los recursos cuello de botella no informan por sí solos respecto a qué otro recurso, aparentemente abundante, se podría convertir en cuello de botella en el futuro luego de liberar las limitaciones actuales que se tengan. En la presente ponencia de investigación se estudia una adaptación del modelo integrado producción-distribución formulado por Lee & Kim en 2002. Dicho modelo aborda la problemática de definir la distribución óptima de múltiples productos en una cadena de suministro de varios eslabones, cada uno de ellos con capacidades en términos de espacio, recursos, y material distintas buscando minimizar una medida de costo. Lawrence y Buss en 1994 muestran que implícitamente en las teorías desarrolladas está que, una vez el cuello de botella actual se ha identificado, los recursos que no son cuello de botella tienen capacidad ociosa suficiente, lo cual genera un impacto negativo sobre los costos. Sin embargo, en la presente ponencia de investigación se analizan este tipo de señalamientos y se concluye que tales decisiones pueden traer implicaciones costosas en un futuro. Como un resultado principal del modelo estudiado, el analista puede estar tentado a vender capacidad debido a que el análisis postóptimo del modelo de programación matemática sugiere que hay un recurso con capacidad ociosa (precio sombra igual a cero), sin embargo, la decisión de intervenir el cuello de botella principal puede generar la aparición de más cuellos de botella en recursos cuya capacidad se haya vendido, con lo cual esta decisión no necesariamente sería la mejor. Otro resultado importante del estudio es que se encuentra que es posible que los cuellos de botella sean en unas etapas para unos productos y en otras para otros productos, con lo cual la intervención se debe hacer más focalizada, y los resultados en los experimentos demuestran mejorías considerables a la función de desempeño determinada en costo, si se considera que la planeación no se hace desde la planta de producción para todos los productos sino que algunos de ellos se debe hacer desde el mismo sistema de distribución.

**#135-Modelo multiproducto para la planificación de despachos de mercancías considerando un indicador de prioridad**

*Nelson Francisco Gordillo Rico, Universidad del Valle,  
nelson.gordillo@correounivalle.edu.co  
Mayra Alejandra Tobar Tobar, Universidad del Valle,  
mayratobar14@hotmail.com  
Andrés Felipe Salazar Ramos, Universidad del Valle,  
andres.f.salazar@correounivalle.edu.co*

El transporte se concibe como uno de los elementos más críticos en logística. La capacidad de entregar productos a tiempo afecta positivamente la percepción del cliente sobre el servicio que se le ofrece. Sin embargo, la mayoría de las empresas cuentan con recursos limitados que dificultan el envío oportuno de los pedidos, en tiempo y cantidad, por lo que se hace indispensable la definición de medidas que representen la prioridad de atención a los clientes. El entorno dinámico

de la planificación de despachos, exige al sistema de distribución el uso adecuado de los recursos mientras se busca mantener niveles altos de servicio al cliente.

La literatura existente resalta la necesidad de atender ágil y oportunamente a los clientes, minimizando el número de agotados por cada ciclo de reposición. Suk-Chul et al. (2008) estudian el problema de la asignación de inventario a las órdenes que se realizan en el día y como solución proponen un modelo de programación lineal que permite maximizar la tasa de pedidos satisfechos, a continuación evalúan el promedio de órdenes entregadas completamente y lo comparan con la regla primeras en entrar, primeras en salir. En el año 2010 Vargas et al., presentan una metodología que compara el uso de indicadores de priorización de despachos, propuestos por Bravo et al (2007), y su utilidad en términos del nivel de servicio medido en unidades de backorders. Este último estudio, es el referente principal para la realización de esta investigación.

Mediante el uso de la herramienta AMPL, se desarrolló un modelo de programación lineal entera mixta, que minimiza los faltantes en cada uno de los clientes atendidos por el centro de distribución, los cuales están en función del inventario de seguridad y el inventario efectivo, con el fin de garantizar el abastecimiento para cada cliente y por ende una adecuado nivel de servicio. El objetivo del modelo, es determinar la disposición del envío de un conjunto de productos en una semana, teniendo en cuenta la capacidad de los camiones disponibles. Para evaluar y hacer seguimiento a la gestión de los despachos en cada período, se propone el uso del indicador tamaño del faltante, formulado por (Bravo et al, 2007), el cual considera la cantidad de producto disponible sabiendo que se debe tener siempre un inventario de seguridad proveniente de un nivel de servicio esperado, dicho inventario permite tener un colchón en caso de que la demanda se comporte de manera inesperada.

El principal aporte de esta investigación es la adaptación en la función de desempeño del modelo de un indicador de prioridad para los envíos de cada producto. Debido a que en la literatura se ha abordado esta problemática desde diversas técnicas y con diversas medidas de desempeño, considerar una planeación en función de los niveles de inventario acerca la planificación de la distribución física de productos al objetivo principal de toda cadena de suministros, el cual es buscar el mejor nivel de servicio, frente al objetivo de costo buscado tradicionalmente en modelos de este tipo.

**#136-Simulación para reducir el tiempo promedio de servicio en acopio de mercancías utilizando algoritmos genéticos**

*Jairo Junior Rangel Redondo, Universidad del Atlántico, Barranquilla,  
jairotunior@gmail.com  
Zulay Sarmiento Arevalo, Universidad del Atlántico, Barranquilla,  
zulaysarmientoarevalo@gmail.com  
Daniel Alfonso Mendoza Cáceres, Universidad del Atlántico, Barranquilla,  
danielmendoza@mail.uniatlantico.edu.co*

Las organizaciones de servicios logísticos y transporte de mercancías buscan reducir tiempos y a la vez disminuir costos. En los problemas de distribución y acopio se requiere programación de las rutas de los vehículos y políticas de recibo o despacho por parte de los clientes (ventanas de tiempo). Una inadecuada programación puede conllevar a altos costos de transporte e insatisfacción de los clientes. La problemática consiste en encontrar la secuencia de recolección de mercancías con destino al centro de acopio, que minimice el tiempo promedio de servicio prestado, teniendo como restricción el tiempo variable de cargue de los vehículos por parte de operarios, la capacidad de carga y la ventana de tiempo que cada cliente tiene para recibir a cada vehículo. El problema actual en la literatura ha sido tratado ampliamente y recibe el nombre de Vehículo Routing Problem VRP (Problema de Ruteo de Vehículos) cuyo objetivo es determinar la mejor secuencia de arribos, dado un conjunto de clientes ubicados en distintos lugares, representados por nodos en un gráfico, y un conjunto de vehículos (homogéneos o heterogéneos) que parten desde un depósito. El caso particular de un VRP con un solo vehículo se modela como un Traveling Salesman Problem TSP (Problema del Agente Viajero), que es el problema considerado a tratar. La

modelación matemática analítica se vuelve compleja a medida que se considera más de una restricción para este tipo de problema, por lo que en el presente trabajo se utiliza un modelo de simulación para la evaluación de la problemática debido a que permite de una forma más eficiente y rápida modelar situaciones con un alto nivel de complejidad que los modelos analíticos. Se construyó un modelo del sistema objeto de estudio en una herramienta de simulación de eventos discretos donde se modelaron parámetros tales como ventanas de tiempo de recibo por parte de los clientes, restricciones de capacidad de los vehículos utilizados para la recolección de mercancías y el cargue realizado por operarios, teniendo como objetivo minimizar el tiempo de servicio promedio con ayuda de algoritmos genéticos. Se obtuvo una programación para la recolección de mercancías con tiempos promedio de servicio y distancias recorridas inferiores a las comparadas con la programación manual que realiza actualmente la organización.

### **#138-Modelo programación lineal entera mixta para la planeación de la producción de fertilizantes NPK y nitrato de calcio**

*Olmedo Ochoa, ABOCOL, olmedo.ochoa@abocol.com*  
*Humberto Quintero, Universidad Antonio Nariño,*  
*director.cartagena@uan.edu.co*  
*Jairo R. Coronado-Hernandez, JARACOHE S.A.S, Cartagena,*  
*jairo.coronado@jaracohe.com*

En este trabajo se presenta un modelo para planificar la producción en una compañía de fertilizantes integrando los procesos productivos de las diferentes plantas con el objetivo de maximizar las utilidades de esta compañía. Este trabajo se desarrolló en un complejo en donde se producen fertilizantes compuestos NPK y de Nitrato de Calcio (NiCa) a partir de la síntesis del amoníaco (NH<sub>3</sub>), la cual aporta la fuente de Nitrógeno(N) con el cual se fabrica Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) y de la reacción de estos se estos últimos se produce Nitrato de Amonio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>). Estas son las materias primas nitrogenadas líquidas que se utilizan para la producción de los fertilizantes NPK y NiCa. La fuente de Fosforo (P) se obtiene principalmente a partir de roca fosfórica y la fuente de Potasio (K) se obtiene a partir del cloruro de potasio. Tanto la fuente de P y K se adquieren mediante la importación desde otros países. Al final el proceso integrado de producción de los fertilizantes termina en las ventas, y de esta manera se deja a disposición el producto terminado a los clientes. Para poder llevar a cabo todo este proceso, la compañía cuenta con 5 plantas productivas: Planta de Amoníaco, Planta de Ácido Nítrico, Planta de Nitrato de Amonio, Planta NPK y Planta de NiCa. Los procesos productivos son de operación continua durante 24 horas y cada planta tiene una capacidad limitada de producción, almacenamiento de producto, tiempo de corrida de la planta y lotes mínimos de producción por grado o producto de fertilizante producido y a su vez los procesos productivos tienen unos costos asociados de arranque, parada, operación, mantenimiento, almacenamiento e inventarios que pueden afectar los costos generales y las utilidades operacionales de la compañía, por lo cual al tener una alta variedad de productos es importante sincronizar las operaciones de todas las otras plantas ante el requerimiento de los productos que se estén produciendo, lo cual es logrado con una buena planificación de la producción de tal manera que satisfaga las necesidades de los pedidos y haga más óptima la operación con la mayor reducción de costos. Al final se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos del modelo de optimización de la planeación de la producción versus la manera como se viene realizando el proceso para mostrar los ahorros potenciales del modelo propuesto.

### **#139-Herramienta de valoración basada en simulación para modelos y algoritmos de planificación de operaciones en la cadena de suministro**

*Jairo R. Coronado-Hernandez, JARACOHE S.A.S, Cartagena,*  
*jairo.coronado@jaracohe.com*  
*Jose P. García-Sabater, Universidad Politécnica de Valencia, España,*  
*jpgarcia@doe.upv.es*

El diseño de modelos y algoritmos de optimización para la planificación de sistemas de producción y cadenas de suministro tienen un carácter dinámico, sujeto a la influencia de variables del entorno no controlables, como típicamente sucede en una realidad empresarial en las que día a día se toman decisiones en un ambiente competitivo. Esa dinámica e incertidumbre de la empresa y el mercado hacen difícil la coordinación de las actividades en la cadena de suministro porque causan desviaciones en los planes y calendarios establecidos previamente. En este trabajo se propone una herramienta de valoración para estudiar el efecto de factores experimentales sobre el desempeño de sistemas de planificación de producción y en cadenas de suministro en un entorno dinámico sobre el marco del horizonte rodante. Los factores que se pueden utilizar para la experimentación pueden ser de diferentes tipos: modelos y algoritmos de planificación, múltiples configuraciones de sistemas de producción o cadenas de suministro, listas de materiales, tamaños de horizontes de planificación, diferentes patrones de demanda, diferentes estrategias de congelamiento, etc. Entre las diferentes variables de salidas de la herramienta hay de dos tipos: las que se utilizan para medir el desempeño en función de la calidad de la solución en termino de ganancias, costes, nerviosismo del sistema, nivel de servicio y complejidad; y por otro lado, variables asociadas a los tiempos de resolución de los algoritmos y modelos propuestos. El objetivo de esta herramienta es propiciar un marco computacional para valorar el efecto de diferentes factores de complejidad e incertidumbre sobre el rendimiento de las cadenas de suministro. Bajo este enfoque se busca:

1. Tener una estructura estandarizada para estudiar efectos de complejidad e incertidumbre bajo un marco de simulación en horizonte rodante.
2. Tener un código abierto y reutilizable por otros investigadores en el tema.
3. Proporcionar facilidad en la implementación de modelos y algoritmos de resolución. La herramienta propuesta está orientada a objetos, lo que permite tener funciones genéricas para comparar algoritmos y modelos para la resolución de problemas de planificación de sistemas multinivel.
4. Establecer una plataforma que permita probar la calidad de los modelos y algoritmos de planificación de operaciones en entornos dinámicos y cambiantes.

### **#140-Heurística para la planificación de materiales y operaciones en cadenas de suministro con estructuras alternativas de productos**

*Jairo R. Coronado-Hernandez, JARACOHE S.A.S, Cartagena,*  
*jairo.coronado@jaracohe.com*  
*Daniela Simancas, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena,*  
*daniela.simancas@utbvirtual.edu.co*  
*Jose P. García-Sabater, Universidad Politécnica de Valencia, España,*  
*jpgarcia@doe.upv.es*

En este trabajo se presenta una heurística para resolver el problema de planificación de materiales y operaciones en cadenas de suministros con estructuras de productos alternativas. Una cadena de suministros se puede modelar desde diferentes perspectivas, una de ellas es desde la estructura de los productos. La solución óptima a este problema se obtiene con el modelo GMOP que tiene como objetivo la minimización de costos asociado a los niveles de inventario, alistamiento y operaciones considerando productos con listas de materiales alternativas. La heurística sirve como marco para embeber reglas de un solo nivel dentro de un problema multinivel con listas de materiales alternativas; en ese sentido, la heurística sirve como marco para la

