

# BOOK OF ABSTRACTS CLAIO/CSMIO 2024

## CLAIO XXII

CONGRESO LATINO  
IBEROAMERICANO DE  
INVESTIGACIÓN OPERATIVA

## CSMIO XII

CONGRESO DE LA SOCIEDAD  
MEXICANA DE INVESTIGACIÓN  
DE OPERACIONES

28 OCT- 1 NOV  
GUADALAJARA, MÉXICO



Elias Olivares-Benitez  
M. Angélica Salazar-Aguilar  
Joel-Novi Rodríguez-Escoto  
Paulina González-Ayala



*Elias Olivares-Benitez*  
*M. Angélica Salazar-Aguilar*  
*Joel-Noví Rodríguez-Escoto*  
*Paulina González-Ayala*  
*(Editors)*

# Book of abstracts CLAIO/CSMIO 2024 conference



Centros Culturales de México  
2024



## **Disclaimer**


This conference book of abstracts has been produced using an author-supplied copy from the conference organizer. Editing has been restricted to some formatting and style where appropriate. The publisher or conference organizer assumes no responsibility for any claims, instructions, methods, diagnosis, treatment, or policy in the abstracts. It is recommended that these shall be verified independently. Further, the conference organizer remains neutral concerning jurisdictional claims in published maps and institutional affiliation.





**CLAIO XXII | CSMIO XII**


**2024**

*Editors*

**Elias Olivares-Benitez**   
Professor  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Panamericana  
Jalisco, México

**M. Angélica Salazar-Aguilar**   
Associate Professor  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica  
Universidad Autónoma de Nuevo León  
Nuevo León, México

**Joel-Novi Rodríguez-Escoto**   
Assistant Professor  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Panamericana  
Jalisco, México

**Paulina González-Ayala**   
Assistant Professor  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Panamericana  
Jalisco, México

*Graphic designer*

Daniella Marie Soto Ordóñez

*Special thanks for sharing templates and orientation*

Oliver Avalos-Rosales

*Conference organizer*

Universidad Panamericana

*Conference venue*

Universidad Panamericana Campus Guadalajara

ISBN: 978-607-8826-59-9

DOI: <https://doi.org/10.21555/claio-csmio.2024>

*Type*

Book of abstracts

*Published*

October 28th 2024

*Number of pages*

101

# Contents

<b>1</b>	<b>Committees</b>	<b>iv</b>
<b>2</b>	<b>Welcome messages</b>	<b>vii</b>
<b>3</b>	<b>Plenary speakers</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>Program</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Tracks and rooms</b>	<b>11</b>
5.1	Building tracks . . . . .	12
5.2	Plenaries schedule . . . . .	12
5.3	Tracks and rooms 9:00 am - 10:30 am . . . . .	12
5.4	Tracks and rooms 2:00 pm - 3:30 pm . . . . .	13
5.5	Tracks and rooms 4:00 pm - 5:30 pm . . . . .	13
<b>6</b>	<b>Technical sessions</b>	<b>14</b>
6.1	TSP1 . . . . .	15
6.2	Multiobjective1 . . . . .	16
6.3	Simulation1 . . . . .	17
6.4	Healthcare1 . . . . .	18
6.5	Logistics1 . . . . .	19
6.6	Best Practice IO . . . . .	20
6.7	Red-M1 . . . . .	21
6.8	Healthcare2 . . . . .	22
6.9	Ports1 . . . . .	23
6.10	Red-M2 . . . . .	24
6.11	AI4AgroIB2 . . . . .	25
6.12	Combinatorial Optimization1 . . . . .	26
6.13	AI4AgroIB1 . . . . .	27
6.14	Stochastic Programming1 . . . . .	28
6.15	Transport1 . . . . .	28
6.16	Waste1 . . . . .	29
6.17	Scheduling1 . . . . .	30
6.18	Machine Learning1 . . . . .	31
6.19	Logistics3 . . . . .	32
6.20	Logistics2 . . . . .	33
6.21	Education1 . . . . .	34
6.22	Healthcare3 . . . . .	35
6.23	Red-M3 . . . . .	36
6.24	Premio Tesis SMIO LicyMaest . . . . .	37
6.25	Logistics4 . . . . .	38
6.26	Applications1 . . . . .	39
6.27	TSP2 . . . . .	40
6.28	Scheduling2 . . . . .	40
6.29	Red-M4 . . . . .	41

6.30	AI4AgroIB3	42
6.31	Multiobjective2	43
6.32	Machine Learning2	44
6.33	Waste2	46
6.34	Healthcare4	47
6.35	Metaheuristics1	48
6.36	Ports2	49
6.37	Project Planning1	50
6.38	Healthcare5	51
6.39	Applications2	52
6.40	Premio Tesis SMIO Doctorado	52
6.41	Public Services1	53
6.42	AI4AgroIB5	54
6.43	Energy1	55
6.44	Artificial Intelligence1	56
6.45	Scheduling3	58
6.46	Logistics5	58
6.47	AI4AgroIB4	60
6.48	Supply Chain Management1	60
6.49	Sustainable Transport1	61
6.50	Location1	62
6.51	Humanitarian Logistics1	63
6.52	Finance1	64
6.53	Transport2	65
6.54	Logistics6	66
6.55	Simulation2	67
6.56	Machine Learning3	68
6.57	Production Planning1	69
6.58	Environment1	70
6.59	Simulation3	71
6.60	Logistics7	73
6.61	Location2	74
6.62	Supply Chain Management2	75
6.63	Waste3	76
6.64	Manufacturing1	77
6.65	Simulation4	78
6.66	Water1	79
6.67	Statistics1	80

**Section 1**

**Committees**



## Scientific committee

**Chair:** M. Angélica Salazar Aguilar, Universidad Autónoma de Nuevo León, México  
Aaron Guerrero Campanur, TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Uruapan, México  
Adrian Ramirez-Nafarrate, Tecnológico de Monterrey, México  
Alfredo S. Ramos, Universidad Panamericana, México  
Anabel Martínez-Vargas, Universidad Politécnica de Pachuca, México  
Anand Subramanian, Universidade Federal da Paraíba, Brasil  
Avelina Alejo-Reyes, Universidad Panamericana, México  
Carolina Castañeda Pérez, Universidad Pompeu Fabra, España  
Ciro Alberto Amaya, Universidad de Los Andes, Colombia, Colombia  
Diana L. Huerta Muñoz, Universidad Autónoma de Nuevo León, México  
Diana Sánchez-Partida, UPAEP University, México  
Diego Pinto Roa, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay  
Diego Recalde, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
Dolores Edwiges Luna Reyes, Universidad de las Américas Puebla, México  
Elena Fernández, Universidad de Cádiz, España  
Fernando Luiz Cyrino Oliveira, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Brasil  
Francisco Saldanha-da-Gama, Sheffield University Management School, UK  
Francisco J. Tapia-Ubeda, Universidad Católica del Norte, Chile  
Gabriel Gutiérrez-Jarpa, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile  
Guillermo Sosa-Gómez, Universidad Panamericana, México  
Héctor Cancela, Universidad de la República, Uruguay  
Iris A. Martínez Salazar, Universidad Autónoma de Nuevo León, México  
Irma Delia García Calvillo, Universidad Autónoma de Coahuila, México  
Jania Astrid Saucedo Martínez, Universidad Autónoma de Nuevo León, México  
Javier Marengo, Universidad Torcuato Di Tella, Argentina  
Jobish Vallikavungal Devassia, Tecnológico de Monterrey, México  
Juan C. Leyva-Lopez, Universidad Autónoma de Occidente, México  
Juan A. Mesa, Universidad de Sevilla, España  
Juan Carlos De los Reyes, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador  
Juan José Salazar González, Universidad de la Laguna, España  
Laura Cruz Reyez, ITCM, México  
Libertad Tansini, Universidad de la República, Uruguay  
Luciana H. Alencar, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
María Araceli Garín Martín, University of the Basque Country, España  
Nancy M. Arratia Martínez, Universidad de las Américas Puebla, México  
Pablo A. Miranda-González, Universidad Católica del Norte, Chile  
Pamela J. Palomo-Martínez, Universidad de Monterrey, México  
Pedro Piñeyro, Universidad de la República, Uruguay  
Ridelio Miranda Pérez, Universidad de Cienfuegos, Cuba  
Romeo Sanchez Nigenda, Universidad Autónoma de Nuevo León, México  
Rosa G. González Ramírez, Universidad de los Andes, Chile  
Samuel M. Nucamendi-Guillén, Universidad Panamericana, México  
Valeria A. Leoni, Universidad Nacional de Rosario y CONICET, Argentina  
Víctor M. Albornoz, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile  
Vincent Boyer, Universidad Autónoma de Nuevo León, México  
William Javier Guerrero, Universidad de la Sabana, Colombia  
Yajaira Cardona Valdés, Universidad Autónoma de Coahuila, México  
Yasmín Ríos-Solís, Tecnológico de Monterrey, México

## Organizing committee

**Chair:** Elías Olivares Benítez, Universidad Panamericana, México

**Chair:** Abraham Mendoza Andrade, Universidad Panamericana, México

**President of SMIO:** Marta Cabo Nodar, Instituto Tecnológico Autónomo de México, México

Samuel M. Nucamendi-Guillén, Universidad Panamericana, México

Juan Martín Orejel Orejel, Universidad Panamericana, México

María Alejandra López Ceballos, Universidad Panamericana, México

Diana L. Huerta Muñoz, Universidad Autónoma de Nuevo León, México

Alfredo S. Ramos Jiménez, Universidad Panamericana, México

Joel Novi Rodríguez Escoto, Universidad Panamericana, México

Paulina González Ayala, Universidad Panamericana, México

María José Morfín Ontiveros, Universidad Panamericana, México

Andrea Esquivel Carbajal, Universidad Panamericana, México

Erick Osmar Muñoz Moreno, Universidad Panamericana, México

Rodrigo Ramírez Castillo, Universidad Panamericana, México

Daniella Marie Soto Ordóñez, Universidad Panamericana, México

María Teresa Flores Villa, Universidad Panamericana, México

## Jurado premio SMIO 2024

Dr. Adrián Ramírez Nafarrate (Presidente del Jurado). Tecnológico de Monterrey, Campus Guadalajara

Dra. Yajaira Cardona Valdés. Universidad Autónoma de Coahuila

Dr. Sergio Armando Medina González. Tecnológico de Monterrey, Campus Chihuahua

## Jurado premio a la excelencia en la práctica de la ALIO 2024

Andrés Weintraub, Chile (presidente del jurado)

Marita Urquhart, Uruguay

Christian Rojas, Perú

Luciana Buriol, Brasil

Angélica Lozano, México

José Oliveira, Portugal

**Section 2**

**Welcome messages**





asociación  
latino iberoamericana  
de investigación  
operativa

Estimada comunidad ALIO,

De nuevo tenemos la ocasión de reunirnos con motivo de Congreso Latino-Ibero-Americano de Investigación Operativa. Con permiso de los amigos chilenos, que alojaron el último congreso de IFORS hace poco más de un año, el CLAIO es el mayor y mejor foro dedicado a la Investigación Operativa que se celebra en Latinoamérica.

Empiezo dando las gracias a Elías y Angélica por asumir la organización de un evento de esta magnitud; por propia experiencia, sé que no es una tarea fácil, que consume mucho tiempo y requiere de mucha paciencia. Muchas gracias por vuestro compromiso desinteresado! Claro que este evento no sería posible sin el apoyo de SMIO. Desde que en 2019 me involucré en el comité directivo de ALIO, primero como vicepresidente y luego como presidente, he podido comprobar como el compromiso de SMIO con ALIO es altísimo: nos ayudaron a organizar el último ELAVIO, un éxito indudable y ahora organizan un CLAIO.

¡Gracias!

Este congreso tiene como objetivo proporcionar un foro para que académicos, investigadores y profesionales de la Investigación Operativa puedan intercambiar ideas y experiencias en los diferentes tópicos del área. Reúne a centenares de investigadores e investigadoras de todo Latinoamérica y supone un punto de encuentro magnífico para nuestra comunidad; en muchas ocasiones es el primer congreso internacional al que acuden los más jóvenes, lo que les permite entrar en contacto con otros investigadores ya consolidados de la región, potenciando las redes científicas. Por eso me alegra saber que tendremos continuidad con próximas ediciones, cuya sede será elegida en la asamblea de ALIO que celebraremos estos días.

Quiero finalizar reiterando mi agradecimiento al comité organizador y a la SMIO por su esfuerzo y el tiempo invertido elaborando el programa, y a todos los colaboradores que de una u otra forma han contribuido a la organización del congreso. Por supuesto, también quiero resaltar la labor del comité científico, por la elaboración de tan interesante programa científico, con conferencias plenarios de primerísimo nivel internacional.

¡Gracias a todos, disfruten del congreso!



**Antonio Alonso-Ayuso**  
Presidente de ALIO

Dear Colleagues,

It is a pleasure to welcome you to Guadalajara to enjoy the CLAIO 2024. As president of the SMIO (Mexican Society for Operations Research) I want to congratulate Elías Olivares as head of the Local Committee. It was him, and his fantastic team, with the support of the SMIO who has put together this new edition of CLAIO. However, it is your participation in the Conference that makes it a complete success, since without participation, no Conference can take place. Thus, I want to also thank all of you, for making the effort and coming to this CLAIO 2024.

During this week we will have the opportunity to share our experiences within the OR field, meet with old friends and attend some very interesting talks that the scientific committee lead by M. Angélica Salazar has put together, with plenary speakers of the highest level, and topics that are of great importance for our community. I do hope that you enjoy all the academic activities as much as you can. I always like to highlight the importance of the coffee breaks, which is the ideal moment to socialize, meet new people and broad your network for future collaborations. Those are the moments that matter in an on-site conference and distinguish them from on-line events. So please, do not be a stranger and have an active participation during the CLAIO, both talks and breaks.

As you will be appreciating during this week, Guadalajara, the vibrant capital city of Jalisco, unites most of the Mexican traditions. Land of the mariachi, and the tequila, it is the second biggest city in Mexico, and as such it has many cultural attractions as well as an ample gastronomical offer. I am sure that, despite the many activities scheduled during the CLAIO, you will have the opportunity to enjoy the city and its many attractions.

All SMIO members, and me personally, are delighted to have you visiting Guadalajara and we hope that you have a memorable time of this CLAIO 2024.

Welcome!



**Marta Cabo**  
President SMIO



Dear OR community,

Welcome to the XXII CLAIO / XII CSMIO editions in beautiful Guadalajara! Known as the birthplace of mariachi music and the region of Tequila, this vibrant city is often regarded as Mexico's "Silicon Valley", seamlessly blending culture and innovation.

We are excited to present an outstanding program featuring distinguished plenary speakers who are leaders in their fields: Prof. Ana Paula Cabral Seixas Costa, Prof. Susana Mondschein, Prof. Dylan Jones (EURO Lecture), Prof. Thibaut Vidal, Prof. Tava Olsen (IFORS Lecture), and Prof. Roger Z. Ríos (SMIO Lecture).

We extend our heartfelt appreciation to the dedicated Organizing Committee for their tireless efforts in ensuring that every detail of this conference shines. Our gratitude also goes to the Scientific Program Committee and invited reviewers for their commitment to maintaining the highest quality standards. A special thanks to Marta Cabo and Efraín Ruiz, SMIO President and Treasurer, as well as to the ALIO Steering Committee, led by Antonio Alonso-Ayuso, for their invaluable support. We would also like to extend our appreciation to the authors who have chosen CLAIO as the venue to share their research.

Additionally, we are grateful for the support of institutions such as Universidad Panamericana, Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones, Sociedad Matemática Mexicana, EURO, IFORS, and our private conference sponsors.

We hope you enjoy your time in Guadalajara, making meaningful connections and gaining inspiring experiences that will resonate long after the conference concludes!

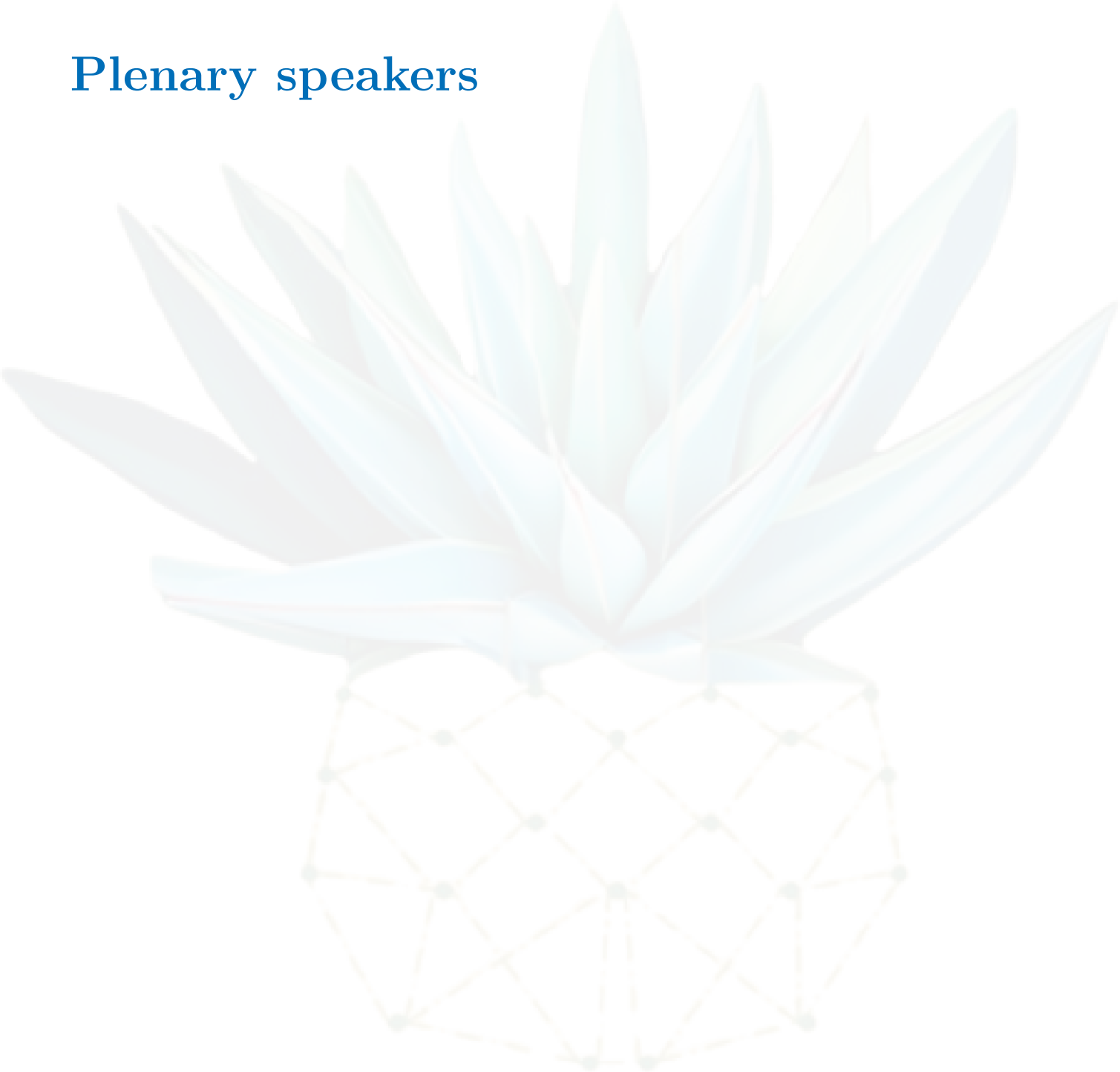
With the best regards.

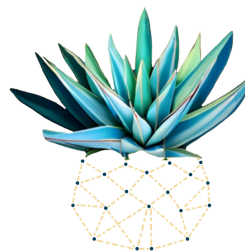


**Angélica Salazar, Elías Olivares, and Abraham Mendoza**  
Organizing committee

**Section 3**

**Plenary speakers**





## SMIO Lecture, Roger Z. Ríos

### Successful Mathematical Optimization Ideas for Territory Design

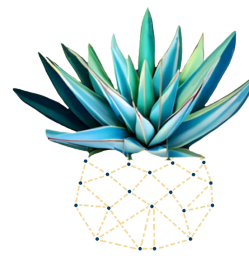
*Aula Santander, Monday, October 28th, 11:00-12:00*

Chair: Marta Cabo Nodar

Districting or territory design problems involve essentially partitioning decisions. Given a set of basic geographical areas, the idea is to find a partition of these into clusters or districts in such a way that specific planning requirements are met. These requirements depend naturally on the specific application. Districting problems are motivated by very different applications, such as political districting, sales and service territory design, school districting, design of territories for waste collection, to name a few. Through the years many ideas for tackling these very difficult discrete optimization problems have been successfully developed. Given the NP-completeness of districting problems in general, most of the solution methodologies have relied on heuristic and metaheuristic approaches. However, mathematical programming techniques have also been successful under specific cases. In this talk, we discuss some mathematical programming ideas that successfully been used in exact or decomposition approaches focusing on particular classes of districting problems. We will highlight particular properties that can be intelligently exploited for efficient algorithmic development. Special emphasis will be given to the computational issues and how particular problem structures and properties can be adequately used for efficient algorithmic design. The last part of the talk will include a discussion of current research trends on this fascinating class of discrete optimization problems.



**Roger Ríos** is a Fulbright Visiting Scholar in the Graduate Program in Operations Research and Industrial Engineering at the University of Texas at Austin, and a Professor in the Graduate Program in Electrical Engineering at Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Mexico. He has held Visiting Scholar positions at the University of Texas at Austin (OR/IE Program), Barcelona Tech (Department of Statistics and Operations Research), University of Colorado (Leeds School of Business), and University of Houston (High Performance Computing Center). He holds a PhD in OR/IE from the University of Texas at Austin. His research interests are mainly in designing and developing efficient solution methods to hard discrete optimization problems. In particular, during the past few years he has addressed applied decision-making problems on territory design systems, forestry management, healthcare management, optimization of natural gas transportation systems, and scheduling in manufacturing systems. His research has been published in leading journals in the field. He is an Area Editor of Computers & Operations Research and a member of the Editorial Board of Operations Research Perspectives. He is a Fellow of the Mexican System of Research Scientists, the Mexican Academy of Sciences, and the Mexican Academy of Computer Science. He is former President and a founding member of the Mexican Society of Operations Research. More about his work can be found at <http://yalma.fime.uanl.mx/~roger/>.



Prof. Ana Paula Cabral Seixas Costa  

## Advances in multicriteria methods with partial information - methodological innovations, behavioural studies, and the design of decision support systems

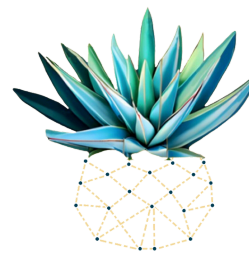
*Aula Santander, Monday, October 28th, 16:00-17:00*

Chair: Luciana Hazin Alencar

Multicriteria methods that use partial information can be considered an advance in multicriteria decision support, as they require less cognitive effort from decision-makers during the process of eliciting their preferences. These methods differ in the way they require and use partial information, and this includes variations in the amount of structuring and flexibility that the methods permit in the process. The behavioural aspects of decision-makers that influence preference modelling are still little explored, and the decision support systems that support these methods are a critical success factor in providing the decision-maker with a successful experience when using a multicriteria method. In this presentation, we will discuss methodological advances, behavioural studies, and how these advances and studies have contributed to modulating methods and improving the design of decision support systems.



**Ana Paula Cabral Seixas Costa** is a Full Professor at the Federal University of Pernambuco. She is the Leader of the Center for Decision Systems and Information Development (CDSID) and a member of the Research Group on Decision Information Systems (GPSID). She is currently Head of the Management Engineering Department at UFPE. She has been a research fellowship Grantee for Productivity in Research from the Brazilian NRC (CNPq), since 2006. In 2016 and 2021, she received the Award for the Best Paper at the International Conference on Decision Support Systems Technology (ICDSSST) in papers co-authored with her doctoral students. She also received, in 2019, as a co-author of the first paper related to the FITradeoff method, the Award for best Journal (EJOR) paper on Theory and Methodology from EURO (Association of European Operational Research Societies). She is a member of the Coordination Board of the Euro Working Group on Decision Support Systems (EWG-DSS); a Member of the Board of Directors of the National Association of Graduate Programs and Research in Production Engineering (ANPEPRO) for the period 2023/2024. She has served as Assistant Coordinator of Professional Engineering Programs III at CAPES from 2013-2017; Assistant Coordinator of Academic Programs of Engineering III at CAPES from 2018-2021; the Coordinator of the Graduate Program in Production Engineering at UFPE from 2005-2007; the Vice Coordinator from 2008-2010; Coordinator of the Professional master's degree in Production Engineering at UFPE from 2008-2012; head of the Management Engineering Department at UFPE for 6 terms from 2008-2021. She is a Member of the Editorial Board of the International Journal of Decision Support System Technology - IJDSST. Her main research interests are Information Systems; Decision Support Systems; Multicriteria Methods; Group Decision and Negotiation; Business Process Management; Maturity Assessment Models and Asset Management. She has had articles published in reputable journals in the academic community, including in EJOR, IJIM, IJPE, IJPM, and RASS. She has had several book chapters published in Springer's Lecture Notes collections. She has coordinated projects funded by academic sponsors, an international cooperation project, CAPES WBI with the University of Brussels and R&D projects funded by ANEEL. These publications and projects deal with topics related to her research interests, with applications in different segments, including in the Energy, Public Safety and Health sectors. <http://lattes.cnpq.br/9665695510823023>



## EURO Lecture, Dylan F. Jones

### Multiple Objective Applications in Renewable Energy Planning and Arctic Innovation Need Selection This talk presents three multiple objective applications.

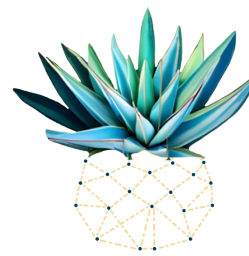
*Aula Santander, Tuesday, October 29th, 11:00-12:00*

Chair: Juan José Salazar González

This talk presents three multiple objective applications. These originate from, or are inspired by, collaborative work on projects funded under the EU Framework 7 and Horizon programmes (<http://leanwind.eu>, <http://arcsar.eu>, <http://ai-arc.eu>). Two case studies of the usage of goal programming to aid decisions in the transition to renewable energy are given. The first is a model for the selection of marine renewable energy sites in the United Kingdom, considering a balance between geographical clusters and different energy types. The usage of interval coefficient goal programming to handle uncertainty over a set of economic, environmental and social sustainability criteria is described. A second renewable energy case study dealing with the renewable energy transition in China is presented. A desired energy configuration in 2050 under different national scenarios is generated using extended network goal programming (ENGP). The balance between national level, different regions and a set of sustainability criteria is optimised. A multi-period stochastic generation expansion planning model is then formulated and solved in order to give the optimal temporal decisions in each region in order to achieve the 2050 optimal configuration given by the ENGP model. The final case study involves the selection of a priority set of Arctic Innovation Needs for safety and security in the Arctic and North Atlantic. Collaboration with search and research (SAR) and Marine Environmental Response (MER) practitioners is first described. The resulting need classification scheme and its assessment by importance and difficulty is then detailed. A balanced knapsack goal programming model and its usage in deriving a priority set of innovation needs are shown. Some results in terms of SAR and MER policy and practice are detailed. Finally, conclusions as to future applications of multiple criteria optimisation techniques are drawn.



**Dr. Dylan Jones** is a Full Professor of Operational Research based in the School of Mathematics and Physics at the University of Portsmouth, UK, where he is the Founding Director of the Centre of Operational Research and Logistics (CORL). Prof Jones's main topic of research is the use of analytical methodologies to model and solve problems with multiple conflicting objectives. He has published over 90 scientific articles on this topic and a keynote book on goal programming. He has worked on multiple European Union funded research projects, providing support to decision making stakeholders and policy makers in the fields of sustainable logistics and manufacturing, maritime and sea-border security, Arctic logistics, renewable energy supply chains and healthcare. His work has also been funded by the UK Engineering and Physical Sciences Research Council, Royal Society, Operational Research Society and Innovate UK. He is an associate editor of the Journal of the Operational Research Society (JORS).



Prof. Susana Mondschein  

## Optimizing Cancer Prevention and Control Through Operations Management and Data Science

*Aula Santander, Wednesday, October 30th, 11:00-12:00*

Chair: Elena Valentina Gutiérrez

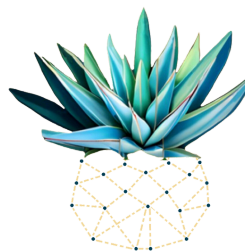
In healthcare, operations management and data science present substantial opportunities to improve the efficiency and effectiveness of cancer prevention and control programs. This presentation explores various aspects of these programs, addressing critical challenges such as limited financial and medical resources, diverse risk groups, and the distinctions between individual and population-level decision-making. Key topics to be covered include:

- **The Importance of Data Quality:** We will explore the necessity for high-quality, accessible, comprehensive, and up-to-date data in shaping effective decision-making processes.
- **Addressing Inequalities in Cancer Survival:** Analyzing how disparities in cancer outcomes impact different populations and identifying strategies to mitigate these inequalities.
- **Complexity of Screening Optimization Models:** Discussing the mathematical challenges of developing cancer screening models.
- **Risk Assessment:** Examining the role of machine learning models in enhancing cancer risk assessment and their application in improving preventive measures.

Through these discussions, we aim to highlight the potential of integrating operations management and data science in advancing cancer control strategies and addressing the various challenges faced in this critical area of healthcare.



**Susana Mondschein** is an Industrial Civil Engineer and holds a master's degree in engineering sciences from the University of Chile and a Ph.D. in Operations Research from the Massachusetts Institute of Technology (MIT). She is an associate professor at the Department of Industrial Engineering at the University of Chile and a researcher at the Institute of Complex Engineering Systems (ISCI) and at the Center for Cancer Control and Prevention (CECAN). She also taught at the Yale School of Management from 2001 to 2011 and at the Adolfo Ibáñez University from 2012 to 2020, where she served as the director of the Industrial Engineering program. She was appointed in 2022 by the President of Chile as one of the five advisors of the National Commission for Evaluation and Productivity (CNEP). She was the president of the Chilean Institute of Operations Research (ICHIO) from 2021 to 2023. Her area of specialization lies in applied stochastic models, with her main research focus being on Health Management and Epidemiology. In this latter area, she collaborates with multidisciplinary teams from the School of Medicine at the University of Chile, the Machine Learning in Health group at the MIT Abdul Latif Jameel Clinic (J-Clinic), the Instituto Nacional del Tórax, and the Institute of Nutrition and Food Technology of the University of Chile (INTA), among others. She has published her research in journals such as *Management Science*, *Operations Research*, *Production and Operations Management*, *PlosOne*, *Scientific Reports*, *EJOR*, *ITORS*, and *Annals of Operations Research*.



Prof. Thibaut Vidal  

## OR with a White Hat: Evidencing Privacy Vulnerabilities in ML Models

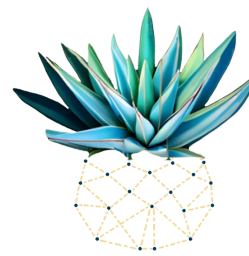
*Aula Santander, Thursday, October 31st, 11:00-12:00*



Chair: M. Angélica Salazar Aguilar

The use of personal data and the integration of decision-support systems and machine learning algorithms in finance, medicine, and many other domains can profoundly impact human lives. Consequently, extensive efforts have been made to improve machine learning pipelines, e.g., making them more accurate, interpretable, and secure. In this talk, we discuss the synergy between combinatorial optimization and machine learning. We focus primarily on tree ensembles (including random forests and gradient boosting), a popular family of models with good empirical performance which is often used as a more transparent replacement to neural networks. We delve into the application of mathematical optimization to various critical tasks in trustworthy machine learning. Specifically, we present an optimization-based reconstruction attack capable of effectively recovering a dataset used to train a random forest model. By framing the dataset reconstruction problem as a combinatorial optimization problem with a maximum likelihood objective and leveraging constraint programming to solve it, our experiments demonstrate that random forests are highly susceptible to complete dataset reconstruction, even with very few trees. These findings highlight a significant vulnerability in commonly used ensemble methods, emphasizing the need for attention and mitigation.



**Thibaut Vidal** is SCALE-AI Chair in Data-Driven Supply Chains and a professor at the Department of Mathematics and Industrial Engineering of Polytechnique Montréal. His expertise focuses on combinatorial optimization, heuristic search, and interpretable machine learning, with applications to transportation and supply chain management, resource allocation, and information processing. He has authored over 50 scientific studies published in reputed international journals and conferences in operations research (OR) and machine learning (ML) and contributed to improving logistics operations in multiple companies through academic and consulting projects as well as the release of open-source code libraries giving access to state-of-the-art algorithms from his academic research. Among others, he has been the recipient of two best paper awards from the Transportation Science and Logistics section of INFORMS, as well as the Robert Faure prize from the French OR society. He currently serves as associate editor for the journal Transportation Science.



IFORS Lecture, Tava Olsen  

## Paying More to Get it Faster: What, When, and How

*Aula Santander, Friday, November 1st, 11:00-12:00*

Chair: Héctor Cancela

This talk gives an overview of my and others research in leadtime-based pricing. We consider the what, when, and how of paying more to get a product or service faster, particularly in capacity constrained settings. Canonical applications include custom furniture and DNA testing. At the time of ordering customers may be presented with a menu of leadtimes and prices, just as companies like Amazon do for delivery times. However, due to the provider's capacity constraints these leadtimes need to reflect what can actually be produced (and when). Most of the talk considers a make-to-order manufacturer or service provider whose customers are time sensitive. Particular aspects considered are: non-linear waiting cost curves, heterogeneous customers, and quotes that affect customer satisfaction. The methodology of the work consists of various forms of stochastic modelling. However, there has also been some behavioural experiments to get a better sense of the correct form for the cost of waiting relative to what is quoted, and this will also be presented briefly.

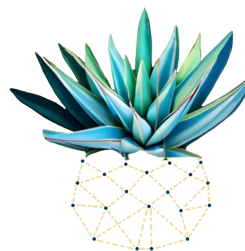


**Dr. Tava Olsen** is Professor of Melbourne Business School as their new Deputy Dean, Academic. Tava's research interests include supply-chain management; pricing and inventory control; and stochastic modelling of manufacturing, service, agricultural, and healthcare systems. Tava is currently the Area Editor for Operations and Supply Chain at Operations Research and a senior editor of Production and Operations Management (POM). She has previously served as an Associate Editor for Management Science and Manufacturing and Services Operations Management (M&SOM), and was the Topical Editor for Supply-Chain Management for the Wiley Encyclopaedia of Operations Research and Management Science. She is a past president of the Manufacturing and Service Operations (MSOM) society and has thrice been awarded the Auckland Business School's research excellence award. Among other journals, her publications have appeared in Management Science, Operations Research, M&SOM, and POM. Tava has been awarded over \$3 million dollars of external funding over her career, including being a recipient of the prestigious NSF CAREER award and RSNZ Marsden grant.

Section 4

Program





## PROGRAM

### Monday 28-Oct

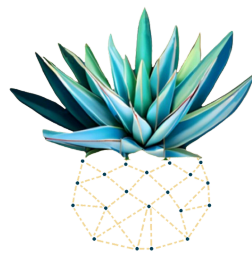
9:00 - 10:00	Registration (Open all week 9-10 am)
10:00-10:30	Opening Ceremony
10:30-11:00	Coffee Break
11:00-12:00	SMIO Plenary Talk: Roger Z. Rios Mercado
12:00-14:00	Lunch Time
14:00-15:30	Parallel Sessions
15:30-16:00	Coffee Break
16:00-17:00	Plenary Talk: Ana Paula Cabral Seixas Costa
17:00-18:30	Welcome Reception

### Tuesday 29-Oct

9:00 - 10:30	Parallel Sessions
10:30-11:00	Coffee Break
11:00-12:00	EURO Plenary Talk: Dylan F. Jones
12:00-14:00	Lunch Time
14:00-15:30	Parallel Sessions
15:30-16:00	Coffee Break
16:00-17:30	Parallel Sessions
17:30-19:00	Assembly of ALIO Representatives

### Wednesday 30-Oct

9:00 - 10:30	Parallel Sessions
10:30-11:00	Coffee Break
11:00-12:00	Plenary Talk: Susana Mondschein
12:00-14:00	Lunch Time
14:00-15:30	Parallel Sessions
15:30-16:00	Coffee Break
16:00-17:30	Parallel Sessions
17:30-19:00	Assembly of SMIO Members



## PROGRAM

### Thursday 31-Oct

9:00 -10:30	Parallel Sessions
10:30-11:00	Coffee Break
11:00-12:00	Plenary Talk: Thibaut Vidal
12:00-14:00	Lunch Time
14:00-15:30	Parallel Sessions
15:30-16:00	Coffee Break
16:00-17:30	Parallel Sessions
18:00-20:00	Conference Dinner: SMIO Thesis Prize, ALIO Prize for Excellence in the Practice

### Friday 01-Nov

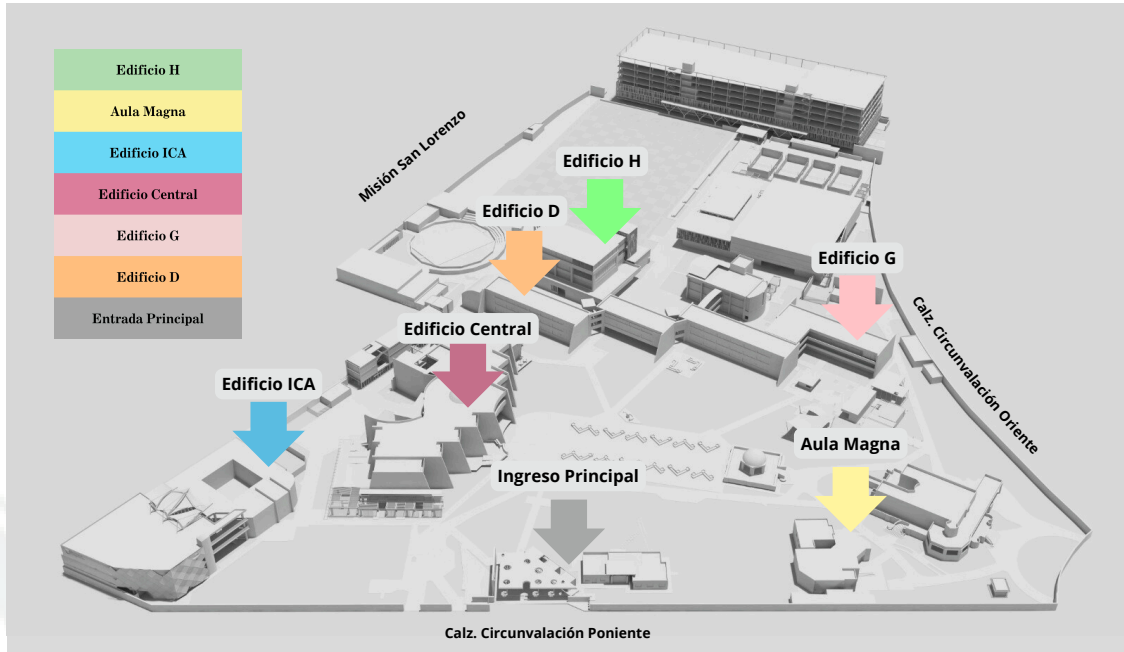
9:00 - 10:30	Parallel Sessions
10:30-11:00	Coffee Break
11:00-12:00	IFORS Plenary Talk: Tava Olsen
12:00-14:00	Lunch Time
14:00-15:30	Parallel Sessions
15:30-16:30	Closing Ceremony: ALIO Medals

**Section 5**

**Tracks and rooms**



## 5.1 Building tracks



## 5.2 Plenaries schedule

Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	
Roger Z. Rios	APCS Costa	Dylan F. Jones	Susana Mondschein	Thibaut Vidal	Tava Olsen
11:00 am	04:00 pm	11:00 am	11:00 am	11:00 am	11:00 am
Auditorio Santander					

## 5.3 Tracks and rooms 9:00 am - 10:30 am

Tuesday							
	358		302		114	352	
Red-M1	144	Healthcare2	314	Logistics2	174	Combinatorial Optimization1	272
	375		81		246		325
Aula Panamericana	41	Aula Magna	82	Diseño3	164	G32	171

Wednesday									
	135		206		17	242	28		
Red-M3	362	Healthcare4	258	Applications1	357	Scheduling2	319	TSP2	77
	279		299		266		188		214
Aula Panamericana	162	Aula Magna	277	Compuaula3		Central10	208	D33	

Thursday							
	280		52		95		110
Logistics5	331	AI4AgroIB4	75	Supply Chain Management1	124	Public Services1	374
	54		167		210		244
Aula Panamericana	26	Aula Magna	377	Diseño3	111	G32	36

Friday							
	94		132		104		251
Environment1	268	Simulation3	308	Logistics7	247	Production Planning1	193
	31		133		180		163
Aula Panamericana	56	Aula Magna	33	CIAC1	238	G22	15

## 5.4 Tracks and rooms 2:00 pm - 3:30 pm

Monday											
	139		46		297		387		177	25	
Logistics1	58	Healthcare1	311	Multiobjective1	213	Best Practice IO	386	TSP1	187	Simulation1	126
	83		335		172		385		80		155
Aula Panamericana	278	Santander Norte	61	Santander Sur	39	Aula Magna	393	Central12	12	Central14	
Tuesday											
	72		18		259		53		45	204	
Red-M2	346	AI4AgroIB1	49	Transport1	313	Ports1	99	Stochastic Programming1	329	Education1	309
	175		237		218		295		102		351
Aula Panamericana	197	Santander Norte	275	Santander Sur	159	Aula Magna	11	Central12	294	Central14	109
Wednesday											
	84		34		119		88		334	349	
Premio Tesis SMIO LicyMaest	391	AI4AgroIB3	48	Metaheuristics1	120	Red-M4	173	Ports2	265	Project Planning1	341
	392		241		226		93		202		233
Aula Panamericana		Santander Norte	40	Santander Sur	365	Aula Magna	30	Central12		Central14	372
Thursday											
	291		90		378		107		166	118	
Simulation2	323	AI4AgroIB5	92	Transport2	215	Location1	223	Sustainable Transport1	371	Logistics6	190
	219		178		71		288		337		189
Aula Panamericana	130	Santander Norte	249	Santander Sur		Aula Magna	140	Central12	47	Central14	122
Friday											
	115		64		267		315		282	216	
Location2	290	Supply Chain Management2	205	Waste3	360	Manufacturing1	283	Simulation4	364	Water1	192
	42		376		157		55		318		127
Aula Panamericana	113	Santander Norte	117	Santander Sur	203	Aula Magna	66	Central10	38	Central12	228
					106						
				Statistics1	342						
					150						
				Central14	252						

## 5.5 Tracks and rooms 4:00 pm - 5:30 pm

Tuesday											
	307		138		156		235		32	250	
Logistics3	96	Healthcare3	327	AI4AgroIB2	63	Machine Learning1	200	Scheduling1	59	Waste1	257
	369		112		16		209		128		182
Aula Panamericana	136	Santander Norte		Santander Sur	196	Aula Magna	50	Diseño2	243	D33	24
Wednesday											
	388		168		234		260		239	62	
PremioTesis SMIO_Doctorado	389	Machine Learning2	370	Multiobjective2	143	Healthcare5	57	Waste2	211	Applications2	276
	390		343		232		97		158		344
Aula Panamericana		Santander Norte	100	Santander Sur	27	Aula Magna	78	Diseño2	201	CIAC2	
					131						
				Logistics4	245						
					287						
				D36	383						
Thursday											
	35		220		185		183		212	186	
Humanitarian Logistics1	184	Artificial Intelligence1	161	Finance1	285	Energy1	74	Machine Learning3	123	Scheduling3	230
	134		286		263		195		125		273
Aula Panamericana	270	Santander Norte	141	Santander Sur	359	Aula Magna	312	Diseño2	176	D33	151

**Section 6**

**Technical sessions**



## 6.1 TSP1

Room: Central12, Monday 14:00-15:30

Session chair: John Fredy Castaneda

Abstract ID 177 (Central12, Monday 14:00-14:20)

### A Greedy Randomized Adaptive Search Procedure for solving the Capacitated Family Traveling Salesperson Problem

Saúl Domínguez Casasola\* (Tecnológico de Monterrey)  
[saul.dominguez@tec.mx](mailto:saul.dominguez@tec.mx) José Luis González Velarde  
 (Tecnológico de Monterrey); Yasmin Agueda Ríos Solís  
 (Tecnológico de Monterrey)

Retail companies have increased their desire to fulfill their consumers' orders rapidly. This situation challenges the picking process, and retail companies must improve it to reduce the time it takes. If they choose the locations to visit, their order, and assignment correctly, they can reduce the distances traveled within the warehouse, which will favorably affect the picking process. The picking process in the massive warehouses motivates the Capacitated Family Traveling Salesperson Problem (CFTSP), a Family Traveling Salesperson Problem variant. In the CFTSP, we consider a graph in which nodes form disjoint families; the problem consists of selecting a given quantity of nodes per family and deciding the sequence in which a set of capacitated agents will visit such nodes to minimize the total distance traveled by the pickers. To address this problem, we propose a matheuristic approach that employs a reactive Greedy Randomized Adaptive Search Procedure, which uses mathematical models as components and features probabilistic stop criteria to solve large instances within a reasonable computational time. We present the experimental results obtained by this matheuristic and compare them with other approximation and exact methods that are presented and compared. These results show that our matheuristic obtains good-quality solutions in reasonable computational times. Keywords: GRASP, CFTSP, TSP, matheuristic.

Abstract ID 187 (Central12, Monday 14:20-14:40)

### Computational experience on assessing heuristics for the prize-collecting traveling salesman problem

Pablo González\* (UANL) [jp.glzfr@gmail.com](mailto:jp.glzfr@gmail.com) Diana L. Huerta Muñoz (Graduate Program in Systems Engineering, Universidad Autónoma de Nuevo León); Roger Rios (UANL)

The Prize Collecting Traveling Salesman Problem (PCTSP) is an extension of the classic Traveling Salesman Problem and the Profitable Tour Problem, which incorporates specific profits and penalties for each city. The aim is to minimize the total traveling costs of the final tour plus the penalties for unvisited cities, ensuring that a minimum reward threshold is met. This study comprehensively assesses and compares two construction heuristics and a local search (LS) procedure for the PCTSP. Furthermore, we analyze the impact of some key algorithmic components of these methods to enhance the solution quality. The first heuristic is an adapted version of the Nearest Neighbor approach where a feasible solution is generated by adding cities to the tour based on their highest prize-travel ratio at each step. The second heuristic constructs a sub-tour by selecting the city with the lowest insertion cost and, subsequently, inserting it into the tour based on its prize-travel ratio at each iteration. To further enhance the initial solutions obtained by these heuristics, a local search procedure is applied to both of them. At each LS iteration, a city is removed from the current tour and replaced with another that does not belong to it aiming to improve the overall solution. We carried out comprehensive empirical experiments on benchmark PCTSP instances to assess and analyze the performance and solutions of these methods. Additionally, we compare the obtained results against a lower bound of the linear programming relaxation of the PCTSP.

Results demonstrate the strengths and weaknesses of each approach, providing valuable insights for seeking effective strategies for solving the PCTSP.

Abstract ID 80 (Central12, Monday 14:40-15:00)

### Una matheurística para el problema del vendedor viajero considerando el consumo de combustible.

Rodrigo Linfati\* (Universidad del Bío-Bío)  
[rodrigo@linfati.cl](mailto:rodrigo@linfati.cl) Virna Ortiz-Araya (Universidad del Bío-Bío); Carlos Rozas-Mellado (Universidad del Bio-Bio); Karen Garcia-Vasquez (Universidad del Bio-Bio)

En este estudio, se propone un enfoque para abordar una variante del Pollution Traveling Salesman Problem (PTSP), que se centra en el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. Dado que el PTSP generaliza el Problema del Vendedor Viajero (TSP), se clasifica como NP-Hard. Este problema implica la visita de todos los clientes por parte de un vehículo, minimizando una función objetivo que considera diversos factores, como la velocidad, la carga del camión y la distancia recorrida. Se llevaron a cabo experimentos computacionales para evaluar el rendimiento de varios solvers de programación lineal entera. Además, se desarrolló una matheurística que combina modelos matemáticos y técnicas matheurísticas para encontrar soluciones cercanas al óptimo en tiempos reducidos. La implementación se realizó en Julia 1.7, utilizando la librería JuMP 1.0 tanto para la metaheurística como para los modelos matemáticos. En la primera fase de la matheurística, se ejecutó el modelo del PTSP con la función objetivo de mínima distancia para encontrar rápidamente una solución, seguido por la aplicación de varias metaheurísticas de trayectoria para mejorarla. En la segunda fase, se utilizaron las soluciones anteriores en el modelo de PTSP, lo que arrojó resultados prometedores en términos de calidad de solución y tiempo de cómputo. Entre los solvers evaluados, se destaca que Gurobi superó a los demás en términos de tiempo de ejecución y calidad de solución.

Abstract ID 12 (Central12, Monday 15:00-15:20)

### Efficient Solutions for the Bi-Objective Multiple Traveling Salesman Problem with Weighted Arcs

John Fredy Castaneda\* (Universidad Tecnológica de Pereira) [jfcastaneda@utp.edu.co](mailto:jfcastaneda@utp.edu.co) Ramon Gallego (Universidad Tecnológica de Pereira); Eliana Toro (Universidad Tecnológica de Pereira)

The Traveling Salesman Problem (TSP) can be applied to logistics industry problems that do not involve freight transportation, such as home service delivery associated with utility operations. This article presents a methodology to address the bi-objective Traveling Salesman Problem (BTSP) considering the impact of pollutant emissions and minimizing cost/time using weighted arcs. The bio-objective approach combines both objectives in a weighted matrix as a scalarization method to obtain local optimal Pareto fronts. The effects of pollution are quantified based on the difference in altitude between customers, with arcs with steeper slopes generating higher emissions. The study compares two distance matrices: one calculated using the Haversine formula for spherical distances and another using Google Maps services to include traffic and travel time variables. The results obtained using a weighted matrix are compared with simulated results of common inefficient logistics scenarios. A Chu-Beasley genetic algorithm with the Or-Opt operator and Google's Or-Tools is implemented to solve the TSP as a reference and state-of-the-art methodology. The algorithms were compared in terms of solution quality, time efficiency, and projected area of the Pareto frontier, also known as hypervolume. Several test instances of clients were used to simulate the operation of a power distribution company in real-world logistics scenarios such as fault response and maintenance services to power grids.

## 6.2 Multiobjective1

Room: Auditorio Santander Sur, Monday 14:00-15:30

Session chair: Cristóbal A Mauricio

Abstract ID 297 (Auditorio Santander Sur, Monday 14:00-14:20)

### A multicriteria metaheuristic algorithm for a bilevel multiobjective competitive facility location problem.

Carlos E. Corpus\* (Centro de Investigación Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Autónoma de Nuevo León) [carlos.corpuscrd@uanl.edu.mx](mailto:carlos.corpuscrd@uanl.edu.mx) Fernando Camacho (Tecnologico de Monterrey)

Competitive facility location problems have drawn researchers attention in recent years. These problems examine situations where two companies compete to attract customers, each aiming to increase its market share. It's common in these problems to assume a hierarchy between the two companies. The higher-ranking one (the leader) makes its own decision, limiting the decisions of the lower-ranking one (the follower). However, the decisions made by the follower impact the leader's profits. Such situations can be modeled using bilevel optimization. Bilevel optimization is a field of mathematical programming that models problems where two decision-makers seek to optimize their own objectives while considering a hierarchy between them. Moreover, in various situations, decision-makers may be interested in optimizing multiple objectives simultaneously. One of the challenges in dealing with bilevel optimization problems is obtaining the optimal reaction from the follower to yield feasible solutions. Adding to the complexity is the consideration of multiple objectives, which aims to generate a set of efficient solutions rather than a single optimum. This work delves into a bilevel competitive facility location problem where the follower's problem has two objectives. Dealing with a bi-objective problem renders the meaning of the follower's "optimal" reaction ambiguous due to having a Pareto front. Additionally, finding the Pareto front through classical methods can be computationally costly. To address this problem, a novel metaheuristic scheme is proposed that combines an evolutionary algorithm for the leader and a multicriteria method for the follower. To demonstrate the algorithm's efficiency, it is compared with two different ways of solving the lower level: using epsilon-constraint and NSGA-II. The advantage of using the proposed scheme is demonstrated, and recommendations are provided for addressing bilevel problems with multiple objectives at the lower level.

Abstract ID 213 (Auditorio Santander Sur, Monday 14:20-14:40)

### Algoritmos para la solución de problemas de Programación Lineal con variables artificiales por descomposición de la función objetivo y bajo un enfoque de la Programación por Metas

Gabriel Solari Carbajal\* (National University of San Marcos) [gsolaric@unmsm.edu.pe](mailto:gsolaric@unmsm.edu.pe) Esther Berger Vidal (National University of San Marcos); Carlos Guerrero Moncada (National University of San Marcos)

Los modelos de Programación Lineal que tienen restricciones "mayor o igual a" o "igual a" con valores no negativos para el lado derecho, obligan al uso de alternativas al método Simplex. El uso de "variables artificiales" es requerido para la formulación de la base inicial del modelo. Estas variables artificiales no son variables económicas del modelo, por lo que no tienen significado en la solución óptima. Para resolver modelos con la presencia de estas variables se utiliza el método de la Gran "M" o el método de las Dos Fases, procedimientos que dan lugar a diversas complicaciones, en el primer caso se requiere resolver las transformaciones de la función objetivo y en el segundo caso se requiere una fase adicional. En ambos casos se requiere mayor

tiempo de procesamiento. En la presente investigación se utilizan dos métodos novedosos: una propuesta por descomposición de la función objetivo convirtiéndola en una de múltiples entradas, estableciendo prioridades entre ellas y en el segunda propuesta se planteó el problema bajo un enfoque de la Programación por Metas. Estas propuestas evitan utilizar el valor "M" por lo que no tiene las complicaciones de los métodos anteriores. Se han resuelto diversos problemas, llegando en todos los casos a la solución óptima.

Abstract ID 172 (Auditorio Santander Sur, Monday 14:40-15:00)

### Formulation and discretization of nonlinearly constrained problems to use a Julia solver: The case of Goddard problem

Marco A Moreno Montoya\* (Universidad Autónoma de Chiapas) [montoya2793@gmail.com](mailto:montoya2793@gmail.com) Yofre García Gómez (Universidad Autónoma de Chiapas)

The Goddard problem is to maximize the final altitude for a vertically ascending rocket under the influence of atmospheric drag and an inverse square gravitational field, taking thrust as the only control under the variables of velocity and altitude with respect to time and the variation of mass across fuel consumption. This problem has been studied by numerous authors across history, and with the idea of using Julia, we will work on two implementations (JuMP and Bocop packages) of this problem with two different objective functions. After rewriting them as nonlinear programming problems, we have the objective function and the restrictions based on the respective differential equations for each implementation. Additionally, we guarantee the existence and uniqueness of the solution to the problem by adding the necessary restrictions to use the Pontryagin Maximum Principle (PMP). This principle states that at every point in time, the control is such that the respective variational Hamiltonian is minimized, subject to all control constraints, and moreover, the transversality and boundary conditions are satisfied. To obtain a numerical approximation, we use interior point methods implemented in the Julia package IPOPT to resolve the problems and the appropriate initial conditions, taken from NASA Contractor Report 4393 (1991). For the first implementation, we use the JuMP package. Here, the objective function is to maximize the final altitude, given a fixed final mass, with thrust as control. Also, the sensibility analysis is studied, setting different values for the final mass, and we illustrate the altitude, speed, and thrust behavior over time and also variations in the final mass. In the second implementation, we use the Bocop package. Following the last methodology steps, the objective function now is to maximize the final mass, given a fixed final altitude, with thrust as control. Finally, some conclusions are presented, along with possible future extensions.

Abstract ID 39 (Auditorio Santander Sur, Monday 15:00-15:20)

### Towards the sustainable massive food services customization: A multi-objective optimization approach

Cristóbal A Mauricio\* (Universidad de Santiago de Chile) [cristobal.mauricio@usach.cl](mailto:cristobal.mauricio@usach.cl) Fernanda Suazo (Universidad de Santiago de Chile); Andrea T Espinoza Pérez (Universidad de Santiago de Chile); Óscar C. Vásquez (USACH)

The Sustainable Development Goals (SDGs) are a global call to action to address various challenges, with two of the most critical being global warming and malnutrition. Global warming, driven primarily by human activities, has significantly impacted the quality of life and the efficiency of numerous productive sectors worldwide. Malnutrition, in its various forms, including undernutrition, overweight, and obesity, affects a staggering 9.2% of the global population, equivalent to approximately 735 million people. The consequences are dire, with 3.4 million lives lost annually due to related complications and illnesses. Within this framework, we extensively reviewed

the literature concerning challenges in optimizing sustainable diets. The review underscores the persistent difficulty in integrating sustainability comprehensively. Despite prevailing product customization trends, there is a notable need to incorporate customers' diverse dietary profiles to provide varied menus within a singular large-scale food service. Accordingly, we developed two Quadratic Mixed Integer Programming (QMIP) models incorporating multiple customer food preference profiles to minimize CO<sub>2</sub>eq emissions and maximize system operational compatibility. These models are subject to several constraints, including nutritional considerations, operational requirements, and aspects of cultural acceptability, all within a constrained budget. Subsequently, we demonstrate the efficacy of our approach through a case study involving one of Latin America's prominent public universities. The outcomes are encouraging, revealing a substantial decrease in CO<sub>2</sub>eq emissions ranging from 51% to 80% and cost reductions from 1% to 25%. Furthermore, our proposal promises seamless adaptation to other large-scale food service institutions, including nursing homes, hospitals, and schools.

### 6.3 Simulation1

*Room: Central14, Monday 14:00-15:30*  
Session chair: Jesús Isaac Vázquez-Serrano

*Abstract ID 25 (Central14, Monday 14:00-14:20)*

#### **Modeling employee turnover in manufacturing: a system dynamics approach**

*Erika López-Sánchez\** (Tecnológico de Monterrey)  
[A00354486@tec.mx](mailto:A00354486@tec.mx) Adrian Ramirez-Nafarrate (Tec de Monterrey)

Management has experienced different changes in the last decade due to globalization, technological development, and economic and health crises. Companies have adapted to new environments, adopted emerging technologies, and optimized resources. Human Resources Management (HRM) has had to face these changes adapting its policies and working conditions. Employee turnover, a persistent challenge in HRM, can generate additional costs, affect productivity, and reduce morale and talent retention. The average turnover rate in 2023 was 37% in the United States and more than 30% in Mexico in companies with at least 250 employees. Turnover is a complex problem influenced by employee and employer-related factors that impact multiple organizational levels, hence it can be studied under a systemic approach to understand the complexity of its relationships. This study proposes a System Dynamics (SD) model of employee turnover to simulate and evaluate strategies to reduce leaving rates. The model includes the recruitment, training, hiring, and leaving processes, and estimate related costs. Turnover intention is predicted using a binary logistic regression model based on the IBM HR Analytics Employee Attrition & Performance database. SD model was developed using Vensim PLE. Results indicate that the annual turnover rate is highly sensitive to variations in working conditions, such as overtime and assigned departments. Variables related to job satisfaction and work-life balance have a lesser extent effect on turnover, but age, distance from home, and job tenure cause non-significant changes. It is concluded that strategies based on reducing workload and improving job satisfaction allow a considerable annual turnover rate and cost decrement. The proposed model can help manufacturing companies implement and design strategies to improve talent retention and understand turnover causes. Further studies could explore external variable effects on turnover and retention rates.

*Abstract ID 126 (Central14, Monday 14:20-14:40)*

#### **Análisis de un sistema de producción cerrado con numero de AGV restringido en el transporte de materia prima.**

*Ana Valeria Monzón\** (Tecnológico Nacional de México en

*Celaya)* [D2303006@itcelaya.edu.mx](mailto:D2303006@itcelaya.edu.mx) Salvador Hernández (Tecnológico Nacional de México en Celaya); José Alfredo Jiménez (Tecnológico Nacional de México en Celaya)

La utilización de los AGV (vehículo autónomo de transporte) es cada vez más frecuente dentro de la estrategia de automatización industrial. El objetivo de esta integración es la Industria 4.0, por un lado, conseguir vehículos cada vez más rápidos y colaborativos, capaces de convivir con seguridad con las personas, y por otro, facilitar al máximo la gestión de la flota a través de herramientas intuitivas que permitan incorporar mejoras que aumenten su eficacia. Todo ello con un fin fundamental: aumentar la competitividad. Cabe destacar que el uso de AGV conlleva una gran inversión por ello es necesario llevar a cabo un análisis cuantitativo. En este trabajo se analiza un caso real en el cual se utiliza un AGV como sistema de transporte, que acarrea canastillas para la distribución de piezas de ensamble, además frente a las estaciones hay espacio para formar un máximo de 4 canastillas que entregan las piezas. El sistema es cerrado y cuenta con cinco estaciones de trabajo en donde el AGV hace pausa para que de forma manual los operarios tomen las piezas necesarias de las canastillas. Para determinar el número de canastillas que maximizan la tasa de salida se construyó un modelo de simulación del proceso empleando el software Arena y se construyó un Diseño experimental factorial completo 24 con un punto central. En el siguiente paso, con los resultados de los experimentos se llevó a cabo un análisis de regresión para obtener un modelo aproximado (metamodelo), finalmente ésta expresión se utilizó para plantear un modelo de optimización para encontrar el número óptimo de canastillas que maximizan la tasa de salida de las piezas (th). Una observación relevante del análisis es que maximizar la tasa de salida no asegura el menor tiempo de permanencia o tiempo de ciclo dentro del proceso.

*Abstract ID 155 (Central14, Monday 15:00-15:20)*

#### **Pricing and inventory management of perishable products using an optimization and discrete-event simulation model**

*Jesús Isaac Vázquez-Serrano\** (Tecnológico de Monterrey)  
[a01262327@tec.mx](mailto:a01262327@tec.mx) Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón (Tecnológico de Monterrey); Rodrigo E. Peimbert-García (Tecnológico de Monterrey); Julio C. Vicencio-Ortiz (Tecnológico de Monterrey); Neale R. Smith (Tecnológico de Monterrey); Armando Céspedes-Mota (Tecnológico de Monterrey)

This study presents a hybrid optimization and discrete-event simulation model which aims to manage the inventory of perishable products within a wholesaler, and to determine the selling price per unit of product. As the economic prosperity of wholesalers depends on controlling inventory to minimize costs and determining the selling price to retailers, pricing and inventory management are the two most relevant elements for wholesalers, who buy products from manufacturers, store and sell them to retailers. This study considers multi-perishable products, multi-periods, heterogeneous suppliers, and stochastic operations in the wholesaler. The inventory costs are minimized with the optimization part of the model, and the stochastic elements in the wholesaler are addressed with the simulation part. In addition, the study shows expressions to calculate the critical selling price per unit, where costs equal revenues, with and without operating costs. The hybrid model is exemplified by a drug/medicine wholesaler. The example uses a database from the United Nations Office for Project Services (UNOPS). The results of the hybrid model are statistically compared with two empirical operational decisions: Lowest Acquisition Cost Approach and Earliest Product Acquisition Approach. The hybrid model decreased the average total costs by up to 20% concerning the empirical scenarios, and the average critical selling price by up to 18%.

## 6.4 Healthcare1

Room: Auditorio Santander Norte, Monday 14:00-15:30

Session chair: Zaida Estefanía Alarcón-Bernal

Abstract ID 46 (Auditorio Santander Norte, Monday 14:00-14:20)

### Planeación y asignación de recursos en departamentos de emergencia: Una revisión de literatura

Dilan Mogollon\* (Universidad Industrial de Santander)  
[dilan2238081@correo.uis.edu.co](mailto:dilan2238081@correo.uis.edu.co) Edwin Garavito  
 Hernandez (Universidad Industrial de Santander); Laura  
 Escobar Rodriguez (Universidad Autónoma de  
 Bucaramanga)

Los sistemas de salud enfrentan desafíos a la hora de planificar y asignar los recursos debido a la incertidumbre relacionada con la llegada de pacientes sin cita previa. Esta situación es recurrente en los servicios de urgencias, debido a la imposibilidad de anticipar el momento y el estado en el que llegará un paciente. Este problema se traduce directamente en altos tiempos de espera y saturación del departamento de emergencia (ED). El hacinamiento de pacientes en los EDs es consecuencia directa de una planeación de recursos deficiente, problema que ha sido tratado desde la caracterización y clasificación de pacientes en función de los niveles de gravedad asociados al triaje. Lo anterior permite identificar el número de pacientes agrupados en cada nivel de gravedad y definir la cantidad de recursos asociados a los posibles tratamientos presentes en los usuarios. Considerando lo anterior, este estudio se enfoca en identificar las estrategias utilizadas en la planificación y asignación de recursos en los EDs, así como evaluar su impacto en la duración de la estancia de los pacientes (LOS). Para ello, se realiza una revisión de literatura con enfoque mixto que combina métodos cualitativos y análisis bibliométrico para examinar la evolución de las publicaciones en el tiempo. Los resultados de esta revisión indican que los enfoques de planeación de recursos son principalmente modelos de optimización (estocásticos y deterministas) y modelos de simulación (basada en agentes y eventos discretos). Hasta donde se conoce, son escasos los modelos deterministas centrados exclusivamente en EDs, en contraste, los modelos estocásticos consideran todos los escenarios posibles en EDs ocasionando no tener un resultado exacto. Por lo anterior, se identifica la necesidad de modelos matemáticos deterministas que aborden múltiples niveles de decisión en los EDs y el nivel de criticidad de pacientes considerando el análisis de datos para mayor robustez.

Abstract ID 311 (Auditorio Santander Norte, Monday 14:20-14:40)

### Análisis de la capacidad instalada en el área de urgencias de un hospital del norte del Valle del Cauca, Colombia

Carlos Alberto Rojas Trejos\* (Universidad del Valle)  
[carlos.rojas.t@correounivalle.edu.co](mailto:carlos.rojas.t@correounivalle.edu.co) Duvan Darío Pájaro  
 García (Universidad del Valle); Carlos Alberto Rojas  
 Trejos (Universidad del Valle)\*; Julián González Velasco  
 (Universidad del Valle)

En el sector salud la capacidad instalada representa los recursos habilitados con los que se cuenta para poder prestar un servicio, siendo los recursos disponibles parte de los factores que condicionan la atención médica de calidad. Específicamente, el área de urgencias se ha convertido en la unidad primordial para la prestación de los servicios, ya que en este lugar se establece el estado prioritario de atención al usuario. Por lo tanto, la correcta gestión de la capacidad instalada en esta área constituye una información esencial para la planificación y programación de servicios, lo que permite garantizar una respuesta positiva de la entidad frente a la demanda de usuarios. Con base en lo anterior, esta investigación tiene como objetivo realizar un análisis de la capacidad instalada en el área de urgencias médicas de un hos-

pital en el norte del Valle del Cauca, Colombia frente a la demanda de servicios de salud de la población, mediante un modelo de simulación de eventos discretos desarrollado en FlexSim®, y la evaluación de diferentes escenarios que pueden afectar el adecuado funcionamiento del servicio de urgencias, lo que finalmente permite establecer un plan de mejoramiento que garantice mejoras dentro de esta área. Al examinar los resultados de la simulación de las propuestas de mejora, se determinó que una adecuada administración de los recursos no solo reduce los tiempos de permanencia de los pacientes en el sistema en un 15,35%, sino que también asegura la disponibilidad de la sala de observación ante un potencial aumento de la demanda. La investigación realizada pudo concluir que la interrelación de los diversos recursos en el área de urgencias influye en el proceso de toma de decisiones en la prestación del servicio. Finalmente, como trabajo futuro se sugiere considerar la dinámica y complejidad en la interrelación de los actores que intervienen en el área objeto de estudio a través de modelos de simulación basados en agentes o híbridos.

Abstract ID 335 (Auditorio Santander Norte, Monday 14:40-15:00)

### Impacto de la variabilidad del comportamiento médico en el funcionamiento de los servicios de urgencias mediante simulación híbrida

Fermin Mallor\* (Universidad Pública de Navarra)  
[mallor@unavarra.es](mailto:mallor@unavarra.es) Miguel Baigorri (Universidad Pública de Navarra); Marta Cildoz (Universidad Pública de Navarra)

En los servicios de urgencias (SU), los modelos tradicionales de simulación a menudo pasan por alto la variabilidad en las prácticas y comportamientos de los médicos, asumiendo una prestación de servicios uniforme en toda la plantilla médica. Nuestro estudio introduce un modelo híbrido de simulación basado en agentes y eventos discretos (AB-DES) para capturar esta variabilidad. Al integrar el modelado de agentes médicos, informado por la literatura médica y de psicología, este enfoque ofrece una representación más detallada de la dinámica de los SU. Mediante escenarios de simulación basados en datos reales de un SU, evaluamos el impacto del comportamiento de los médicos en indicadores clave de rendimiento, como los tiempos de espera de los pacientes y los niveles de estrés de los médicos. Los resultados muestran una variabilidad significativa tanto en el rendimiento individual de los médicos como en los promedios de los indicadores a través de los escenarios, enfatizando la importancia de considerar el comportamiento de los médicos tanto para una evaluación precisa del rendimiento de los SU como para el diseño de nuevas políticas de gestión del flujo de pacientes.

Abstract ID 61 (Auditorio Santander Norte, Monday 15:00-15:20)

### Modelos de Asignación para la Distribución de Personal Médico en Hospitales

Zaida Estefanía Alarcón-Bernal\* (Universidad Nacional Autónoma de México) [zaida.alarcon@unam.mx](mailto:zaida.alarcon@unam.mx) Nilse  
 Pamela Romero Basurto (UNAM); Ricardo Aceves  
 (Universidad Nacional Autónoma de México); Osvaldo E  
 Palma Cabrera (UNAM)

En este trabajo se desarrolla una propuesta para la programación de personal médico en un hospital en una plataforma web, basada en un modelo de asignación que integra diversas restricciones operativas y laborales. Este esquema busca optimizar la distribución de las actividades entre el personal médico, garantizando el cumplimiento de la normatividad laboral, los requerimientos operativos y la equidad en la carga de trabajo, como los periodos vacacionales, la asistencia a congresos y campañas, la rotación de guardias, así como el cumplimiento de los niveles mínimos de personal. El modelo permite una solución eficiente frente a la complejidad del problema. Para resolver, se utiliza una heurística de basada en trayectorias que facilita encontrar soluciones factibles en un tiempo computacionalmente acepta-

ble, lo que es fundamental en entornos hospitalarios. Los resultados obtenidos demostraron que el modelo no solo cumple con todas las restricciones impuestas, sino que también mejora significativamente la operación. Esto se logra mediante una distribución más equitativa de las actividades del personal y una gestión más eficiente por parte de los administradores.

## 6.5 Logistics1

*Room: Aula Panamericana, Monday 14:00-15:30*

Session chair: Juan C Rivera

*Abstract ID 139 (Aula Panamericana, Monday 14:00-14:20)*

### **Integrated planning of ready-mixed concrete production and transport**

*Antonio Alonso-Ayuso\** (Universidad Rey Juan Carlos) [antonio.alonso@urjc.es](mailto:antonio.alonso@urjc.es) Aldana S Tbaldo (INGAR, CONICET-UTN); Antonio Alonso-Ayuso (Universidad Rey Juan Carlos)\*; Yanina Fumero (INGAR-CONICET-UTN); Jorge Marcelo Montagna (INGAR, CONICET-UTN)

The daily planning of production and distribution in the ready-mixed concrete industry faces important challenges due to the nature of the product, exacerbated by the growth in market demand. Ready-mixed concrete is a product that must be delivered at the precise moment customers require it. This implies that production activities must be closely synchronized with distribution operations, ensuring that the necessary quantities are available and delivered on time. Any deviation in this coordination can result in delivery delays, loss of productivity and customer satisfaction, and even additional costs for the company. To address these challenges, a mixed-integer linear optimization model has been developed that effectively manages simultaneous batching, production and distribution decisions in ready-mixed concrete production plants. Unlike prior research, this work considers several distinctive assumptions: multiple non-identical parallel loading docks, heterogeneous mixer, and pump trucks, delivery time windows and unloading methods defined by clients, synchronization of multiple shipments, and synchronization between mixers. The problem consists of determining the number and size of the shipments that compose each order (batching problem); the allocation, sequencing, and timing of the shipments in the loading docks (production problem); the allocation of shipments for each truck mixer, the departure times of each truck trip and the corresponding delivery times, as well as the sequencing and timing of the pumps for concrete unloading (distribution problem). The model has been tested with various case studies and has successfully solved medium to large problems with optimal solutions within reasonable CPU processing times. Keywords: ready-mixed concrete, MILP, production and distribution scheduling, pumps.

*Abstract ID 58 (Aula Panamericana, Monday 14:20-14:40)*

### **Matheuristics for a Multi Depot Heterogeneous Fleet Periodic Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows**

*Alejandro Arenas-Vasco\** (Instituto Tecnológico Metropolitano - Universidad EAFIT) [aarenas2.aa@gmail.com](mailto:aarenas2.aa@gmail.com) Juan C Rivera (Universidad EAFIT); Maria Gulnara Baldoquin (Universidad EAFIT)

The present research aims to solve a real-life problem raised in the vending machine industry in Medellín, Colombia. The problem requires a set of vehicles with heterogeneous capacity to serve the vending machines of multiple clients using multiple depots. The clients must be served during a given time window and have different possible patterns of service. The company requires the routes to be planned for a working week (Monday to Saturday), taking into consideration that

each client must be assigned one of their available visit patterns. The previously described problem is a Vehicle Routing Problem (VRP) with a particular set of attributes considered: capacitated, periodicity, multiple depots, heterogeneous fleet, and time windows. To the best of our knowledge, these attributes have been considered at the same time only in four other papers, nevertheless, the problem object of this research presents unique constraints (e.g., stand-by times are allowed) and is not comparable to any of the other studies. In all of the aforementioned research, the authors solved the problem using heuristics, or meta-heuristics. The objective of this research is to present various novel Matheuristics for a Multi Depot Heterogeneous Fleet Periodic Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (MDHFPCVRP-TW) adapted to the characteristics of the researched real-life scenario. The Matheuristics have two phases: Phase one: clients are assigned a service pattern. Knowing when the clients have to be served eliminates the periodicity of the problem but now a rich VRP must be solved for each weekday. Phase two: a rich VRP problem with multiple depots, heterogeneous fleet, and time windows is solved using a (meta)heuristic.

*Abstract ID 83 (Aula Panamericana, Monday 14:40-15:00)*

### **A Mixed-Integer Linear Programming Model for a Heterogeneous Fleet and Multi-product Vehicle Routing Problem with Time Windows, Mixed Pickup and Delivery, and optional simultaneous services**

*Matías E Rozas\** (Universidad del Bío-Bío) [matias.rozas1901@alumnos.ubiobio.cl](mailto:matias.rozas1901@alumnos.ubiobio.cl) Carlos Obreque (Universidad del Bío-Bío); Sebastián Muñoz-Herrera (Universidad del Desarrollo); Óscar Cornejo Zúñiga (Universidad Católica de la Santísima Concepción)

This study addresses a logistical challenge faced by a service company specializing in renting refrigeration equipment for soft drinks. The company handles daily requests for pickup and delivery of various types of refrigeration equipment. Some customers require a (1) delivery service, (2) pick-up service, (3) simultaneous pick-up and delivery, or (4) non-simultaneous services. The company operates a diverse fleet of vehicles and can rent additional vehicles as needed to meet daily demand. Each customer specifies multiple time windows, representing their availability for service. To address this challenge, we introduce a vehicle routing problem that considers various time windows and different mixes of products for simultaneous and non-simultaneous pickup and delivery. We propose a mixed-integer linear programming model that meets all customer specifications and demands while minimizing transportation costs and respecting working hours and vehicle capacity constraints. We applied the model to solve test and real-world instances using the AMPL optimization software with the CPLEX 20.1 solver. The results demonstrate the effectiveness of our approach in optimizing the routing and scheduling of refrigeration equipment delivery and pickup operations, ensuring timely and efficient service for customers while minimizing operational costs.

*Abstract ID 278 (Aula Panamericana, Monday 15:00-15:20)*

### **A Biased Random Key Genetic Algorithm for a Multi Depot Heterogeneous Fleet Periodic Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows**

*Juan C Rivera\** (Universidad EAFIT) [jrivera6@eafit.edu.co](mailto:jrivera6@eafit.edu.co)

In this research, a new variant of the vehicle routing problem is studied: the Multi-Depot Heterogeneous Fleet Periodic Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows. This problem has significant applications in industries dealing with the distribution of mass products to multiple shops scattered across a geographical region. Each shop is characterized by a time window during which products must be delivered and a frequency of supply based on its

demand. Additionally, multiple depots and various types of capacitated vehicles are considered for dispatching. The objective is to define a route for each vehicle, starting from a depot, for each day of a given time horizon, ensuring that each shop is supplied according to its required frequency, time windows are satisfied, and total travel time is minimized. Examples of applications include the supply of groceries for vending machines and drinks, among others. To find efficient solutions, we propose a Biased Random Key Genetic Algorithm (BRKGA), which uses random keys to encode chromosomes. These random keys define patterns of visits for each shop and subsequently determine feasible routes. Multiple genetic operators are evaluated to identify the most suitable algorithm structure. The results are compared with those obtained by existing exact methods, as well as solutions for special cases of the problem, such as instances with only one depot or only one type of vehicle.

## 6.6 Best Practice IO

*Room: Aula Magna, Monday 14:00-15:30*

Session chair: Andrés Weintraub

*Abstract ID 387 (Aula Magna, Monday 14:00-14:20)*

### Advancing Towards Massive Food Services Sustainability: A Platform Design and Implementation for Informed Decision-Making

Andrea Espinoza Pérez\* (Universidad de Santiago de Chile) [andrea.espinozap@usach.cl](mailto:andrea.espinozap@usach.cl) Lorena Espinoza Pérez; Cristóbal Mauricio (Universidad de Santiago de Chile); Catalina Araya; Rodrigo Contreras (Universidad de Santiago de Chile); Fernanda Suazo (Universidad de Santiago de Chile); Natalia Velastín; Javiera Bianchi; Óscar C. Vásquez (Universidad de Santiago de Chile)

Food systems are among the most important global concerns highlighted by the Sustainable Development Goals because of their interconnectivity with zero hunger, health, well-being, and climate change. Massive food services (MFS) with captive audiences have become important players in this setting, especially since more than 48% of people worldwide dine out of their homes at least once a week. Furthermore, food services, in general, must prepare meals in a single kitchen to satisfy various client preferences, which requires the integration of technological needs into the diet problem. Moreover, adding client preference profiles makes meal compatibility for planners more challenging. Consequently, our project addresses menu planning decision-making problems in the MFS context, incorporating the sustainability concept, technical and compatibility requirements, and client preference profiles. Specifically, we propose an online platform (OP) through an integrative approach mixing (i) a problem statement, (ii) a quadratic mixed-integer programming model proposal, (iii) a case study including real-world data collection regarding MFS managerial actions, life cycle assessment for environmental impacts integration, nutritional estimation, and cost assessment, and (iv) visual programming using Python anywhere. The OP structure is divided into three parts: Controller (functions to select, filter, and manipulate data from the database), View (functions are presented, and the user interface is managed), and Optimization model (an optimization model implemented in Python, with all the constraints). The OP provides a user-friendly experience that lets the user decide which foods to limit, integrate budget constraints, select which nutritional features to limit, and assign upper and lower limits. Results are presented as a calendar with AI-generated images. One tangible benefit is the reduction of time; meal planning used to take one to two weeks, but now it just will take an hour.

*Abstract ID 386 (Aula Magna, Monday 14:20-14:40)*

### OPTEX, Where Optimization Expertise Meets Artificial Brains. Experience in the Oil and Gas Sec-

tor.

Jesús María Velásquez-Bermúdez\* (HYPOTHALAMUS Artificial Intelligence)

[jesus.velasquez@hypothalamus-ai.com](mailto:jesus.velasquez@hypothalamus-ai.com)

OPTEX, created in 1990 by Jesús María Velásquez-Bermúdez, is a pioneering AI-based optimization system originally designed for advanced mathematical modeling. It has since evolved into a sophisticated generative AI system. Using an algebraic database language, OPTEX handles both basic mathematical definitions and complex multi-problem models, enabling the development of large-scale optimization systems (EWOS) without traditional programming. OPTEX has progressed from a basic data entry interface to more integrated methods, with plans to incorporate AI platforms like ChatGPT for managing interactions with modelers and users. Its architecture supports edge and cloud computing, allowing for autonomous, real-time distributed optimization. This capability enables OPTEX to manage highly complex multi-problem models across platforms using advanced algorithms such as Generalized Stochastic Dual Dynamic Programming. The system's use of Structured Mathematical Modeling ensures compatibility among all models developed within OPTEX, positioning it to tackle large-scale optimization challenges in modern industries. The management of multi-problem models led to the development of the "Artificial Hypothalamus," which evolved into "Multi-Brain Artificial Brains." Operating on a unified platform, OPTEX ensures models stay up to date. Supported by HYPOTHALAMUS Artificial Intelligence (HAI), OPTEX has become a world-class software factory, specializing in high-complexity mathematical modeling and AI-driven decision-making. OPTEX's success is reflected in over 100 significant optimization models across various industries, including supply chain design for a brewing company, regional urban planning, real-time oil pipeline operations, and complex chemical process optimization. In the oil and gas sector, OPTEX has optimized the integrated supply chain and real-time pipeline operations of an OG company. For details: Oil Gas Artificial Brains. Case: Pipelines Transportation: <https://t.ly/OZWk1>

*Abstract ID 385 (Aula Magna, Monday 14:40-15:00)*

### Balancing the cardinality of clusters with a distance constraint

José A. Iranzo\* (Universidad de Zaragoza)

[joseani@unizar.es](mailto:joseani@unizar.es) Herminia I. Calvete (Universidad de Zaragoza); Carmen Galé (Universidad de Zaragoza)

Delivery companies often organize their customers into delivery zones based on their geographical location. This simplifies subsequent management, such as routing and load distribution, and helps delivery drivers to gain a better understanding of the zones and their customers. Typically, the definition of these zones is a strategic decision made over time, considering geographic boundaries and regular demand levels. However, the number of customers needing service in each zone can vary from day to day, leading to fluctuations in the daily workload and to potential imbalances amongst zones. This study addresses a customer reallocation problem posed by a company in the logistics sector, whose objective is to balance the daily workload of delivery drivers taking into account the original clustering. Two objectives are considered, prioritized lexicographically. The first objective aims to balance the number of customers assigned to delivery drivers by minimizing the variance, subject to constraints that limit possible customer reassignments. To achieve this, customers can be reassigned from one zone to another, provided they are close enough. The second objective aims to minimize the total cost of customer reassignment by giving preference to customers closer to their original zone. In addition, this problem should be solved in a short period of time to facilitate day to day implementation. To tackle this challenge, a heuristic algorithm has been developed to address both objectives step by step, using a lexicographic approach. Computational experiments show that the heuristic algorithm either provides the optimal solution, if available, or the best solution otherwise. Moreover, the computational times required are sufficiently small to enable the algorithm's implementation in real-world scenarios.

Abstract ID 393 (Aula Magna, Monday 15:00-15:20)

### A stochastic programming approach for the operational fleet composition problem

Daniel Negrotto\* (Mercado Libre)  
[daniel.negrotto@mercadolibre.com](mailto:daniel.negrotto@mercadolibre.com)

This paper introduces the operational fleet composition problem with stochastic demands (OFCP-SD), which is commonly faced by e-commerce companies in the context of short-term capacity planning for freight transportation. We propose a two-stage stochastic programming formulation, in which the planned fleet size and mix decisions make up the first stage, while recourse actions are taken in the second stage to hire extra vehicles or to make vehicle cancellations according to the observed demands. The hiring of extra vehicles implies additional costs, whereas the vehicle cancellations entail a financial restitution. The objective is to minimize the fleet overall cost, which comprises the first-stage planned cost as well as the expected cost or restitution stemming from the fleet adjustments made in the second stage. A scenario generation procedure is devised and a variable fixing matheuristic is suggested for the OFCP-SD. A case study conducted within the Brazilian middle-mile operation of the leading e-commerce company in Latin America shows the advantages of explicitly modeling the stochastic demands and underlines the benefits of the proposed approach for the business. Compared to a simplified deterministic approach, the use of OFCP-SD demonstrated since March 2022 an accumulated cost saving of more than 17.3 million dollars in Brazil, Mexico and Colombia, as well as an annual reduction of more than 20 thousand pallets transported by means of extra vehicles.

## 6.7 Red-M1

Room: Aula Panamericana, Tuesday 09:00-10:30

Session chair: Javier Pereira

Abstract ID 358 (Aula Panamericana, Tuesday 09:00-09:20)

### A new decision support system for rank a finite set of multicriteria alternatives with a revised distillation procedure

Alejandra Isabel I Cardenas Sanchez\* (Universidad Autónoma de Occidente) [isabelzsanchez01@gmail.com](mailto:isabelzsanchez01@gmail.com)

Jesus Aram A Manriquez Huizar (Universidad Autónoma de Occidente); Juan C Leyva-Lopez (Universidad Autónoma de Occidente); marco a cortes (universidad autónoma de occidente); Angela Camacho Lopez (Universidad Autónoma de Occidente)

This paper presents a new decision support system (DSS) for solving multi-criteria ranking problems: how to rank a set of alternatives (with evaluations in terms of several criteria) in decreasing order of preference. The method consists of two phases: 1. The first phase uses the ELECTRE III methodology to construct a fuzzy outranking relation, called the credibility matrix. 2. The second phase includes the exploitation of this matrix, through a revised distillation procedure, obtaining two partial pre-orders and one final order, and to obtain a recommendation. The revised distillation procedure is based on the main idea of creation of preferences relations. This system is designed to guide decision makers and its practical application is illustrated with an example. In which this methodology is presented to solve multicriteria ranking problems. How to order a set of decision alternatives that are valued by a set of criteria according to the preferences of a decision maker. This type of approach helps to obtain a recommendation to a decision problem for more informed decision making that involves the preferences of the decision maker.

Abstract ID 144 (Aula Panamericana, Tuesday 09:20-09:40)

### ¿Defender o dañar? Intención de las marchas feministas usando evaluación multicriterio

Alicia Estrada Campos\* (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato) [LIS21110539@irapuato.tecnm.mx](mailto:LIS21110539@irapuato.tecnm.mx)

María G Estrada Campos (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato); Dulce G Gómez Zavala (Tecnológico Nacional de México / ITS Irapuato )

En los últimos años, el movimiento feminista ha surgido como un tema de relevancia significativa en las nuevas generaciones, catalizando manifestaciones a nivel global con el propósito de instigar cambios socioculturales. No obstante, la evolución del movimiento ha suscitado interrogantes sobre la claridad y consistencia de sus objetivos primordiales. En este contexto, la presente investigación se propone emplear un enfoque cuantitativo basado en el Método de Jerarquía Analítica (AHP) para la toma de decisiones multicriterio, con el fin de identificar el motivo principal que impulsa a la asistencia de las marchas del movimiento feminista. Para alcanzar dicho propósito, se diseñó una encuesta cerrada dirigida a personas que han participado en las marchas del 8M en la localidad de Irapuato. El análisis se sustenta en la presentación de diversas alternativas, entre las cuales se incluyen: la defensa de los derechos de las mujeres, la erradicación del acoso, la eliminación de la violencia de género, la consecución de la igualdad de género, la prevención de las violaciones, la imposición de sanciones a los agresores sexuales, y la protección integral de la mujer. Además, se llevó a cabo un análisis utilizando cadenas de Markov para estimar la participación en la marcha del 8 de marzo para el año 2025, con el fin de comprender mejor la dinámica y el impacto potencial de las acciones feministas en el futuro cercano. Los resultados obtenidos tras la administración de las encuestas revelan que el motivo preponderante que impulsa las acciones de las manifestantes feministas en Irapuato es la erradicación de las violaciones, movimiento que pervive como una amenaza constante que perturba la seguridad y el bienestar de las mujeres de la localidad.

Abstract ID 375 (Aula Panamericana, Tuesday 09:40-10:00)

### Modelado de riesgos y su efecto en el primer eslabón de la Cadena de Suministro del Limón Persa. Caso de estudio en México.

Isaías Julián Sarmiento\* (UPAEP)

[isaias.julian@upaep.edu.mx](mailto:isaias.julian@upaep.edu.mx) Diana Sánchez Partida (UPAEP University, Puebla, México); Enrique Gabriel Baquela (UTN University, Argentina)

Resumen. La Cadena de Suministro Agroalimentaria (CSA) desempeña un papel primordial para garantizar la disponibilidad de alimentos e insumos en sus diferentes eslabones, sin embargo, de acuerdo a su naturaleza y estructura compleja se enfrenta a una serie de eventos impredecibles que afectan negativamente su desempeño, por lo tanto, es de gran interés identificar, evaluar y gestionar adecuadamente los riesgos para diseñar planes de mitigación y control y con ello asegurar el abasto de alimentos. En ese contexto, este artículo presenta un estudio exploratorio y descriptivo en el que se identifican los riesgos potenciales en el primer eslabón (producción en huerto) de la CSA del Limón Persa (*Citrus latifolia tanaka*) en el Distrito Citrícola de Martínez de la Torre, Veracruz. El objetivo fue evaluar el efecto de los riesgos identificados sobre las variables clave de salida. Se utilizó el enfoque de Dinámica de Sistemas (DS), que permite en un primer momento modelar de forma causal los riesgos y posteriormente simular y validar el proceso con datos reales. Los resultados preliminares indican que los principales factores desencadenantes son la escasez de plaguicidas, la falta de conocimiento técnico, las plagas y enfermedades que afectan al cultivo de cítricos, así como las condiciones climáticas. Estos factores determinan el volumen de producción y la calidad de la fruta para exportación.

Abstract ID 41 (Aula Panamericana, Tuesday 10:00-10:20)

### Multi-criteria analysis of three simulated airport parcel cargo flow control systems

Javier Pereira\* (Universidad Tecnológica de Chile) [xjavierpereira7@gmail.com](mailto:xjavierpereira7@gmail.com) Rodrigo Figueroa (Universidad de Chile); Danielle Morais (Universidade Federal de Pernambuco); Laura Plazola (Universidad de Guadalajara)

The Santiago de Chile airport's parcel cargo logistics hub aims to enhance collaboration among public and private entities, but recent challenges have arisen due to increased cargo operations from pandemic recovery and growing e-commerce activities. This increase has led to delays in parcel cargo throughput, reduced service levels, and compromised transparency and traceability within the airport zone. To address these uncertainty issues, the Physical Internet (PI) concept has been proposed as a global logistics paradigm, offering solutions through innovative concepts, methods, and technologies. PI facilitates the flow and control of physical goods akin to data flow on the digital Internet, leveraging encapsulation, smart interfaces, and standard protocols for operational interconnectivity. However, the effectiveness of PI implementation depends on the specific management system adopted. In this proposal, an airport load movement system is modeled in Arena software to simulate and evaluate three PI-based management models for the flowing of aircraft pallets (also known as ULD, unit load device) within the airport zone. The first model, termed the pull management system, relies on local decision-making for ULD flow control. In contrast, the second model adopts a push management approach, centrally controlling ULD flow. The third model, hybrid management, integrates both pull and push elements into decision-making processes. Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) and the standard Stochastic Multi-Criteria Acceptability Analysis, SMAA-2, are used to address uncertainty. The performance of the three models is evaluated in terms of the following criteria: throughput, service level, transparency, and traceability. Results indicate that pull and hybrid systems outperform push-based solutions. We conclude with a discussion on implementing real information and telecommunications technologies to deploy these solutions effectively within the airport.

## 6.8 Healthcare2

Room: Aula Magna, Tuesday 09:00-10:30

Session chair: David Barrera Ferro

Abstract ID 302 (Aula Magna, Tuesday 09:00-09:20)

### Un Algoritmo Híbrido para el Problema de Programación de Admisión de Pacientes

Eder R. Delgado\* (CIMAT) [eder.delgado@ciamat.mx](mailto:eder.delgado@ciamat.mx) Jonás Velasco (CIMAT Aguascalientes); Joel A. Trejo (CIMAT)

En la actualidad, en muchos países, el hecho de que las personas vivan más tiempo y que la población esté envejeciendo, sumado a los avances tecnológicos en medicina, provoca que la atención médica sea más demandada y a su vez más costosa. Un factor determinante de estos crecientes costos se observa en las estadías hospitalarias que, en muchos casos, están vinculadas a tratamientos de alto costo. Por lo tanto, una preocupación central de la administración hospitalaria y de esta investigación es la optimización del uso de los recursos disponibles. Con este objetivo, el presente estudio se centra en la asignación de recursos hospitalarios para pacientes electivos mediante el Problema de Programación de Admisión de Pacientes (Patient Admission Scheduling Problem - PASP). Para abordar este problema de optimización combinatoria, clasificado como NP-difícil, se propone una modelización equivalente, seguida de la generación de una solución inicial mediante una heurística voraz basada en métodos exactos, y finalmente, se busca mejorar esta solución utilizando algoritmos de búsqueda local de vecindario variable. Los resultados preliminares

alcanzados hasta el momento son de buena calidad con respecto al óptimo y son alcanzados en tiempos de cómputo cortos.

Abstract ID 314 (Aula Magna, Tuesday 09:20-09:40)

### Propuesta de mejora para la prestación de servicios de medicina especializada en un hospital del norte del Valle del Cauca, Colombia

Javier Rodríguez Álvarez\* (Universidad del Valle)

[javier.rodriguez.alvarez@correounivalle.edu.co](mailto:javier.rodriguez.alvarez@correounivalle.edu.co) Juan

Esteban Montoya Libreros (Universidad del Valle); James Adolfo Vargas Niño (Universidad del Valle); Karol Dahiana Arboleda Rivera (Universidad del Valle)

La presente investigación aborda el problema de los tiempos prolongados de espera en la asignación de citas de medicina especializada en un hospital de nivel II en el norte del Valle del Cauca, Colombia, el cual afecta la oportunidad en la prestación del servicio de salud. En el hospital se evidencian tiempos de espera superiores a lo establecido por la normativa para la asignación de citas de medicina especializada, generando insatisfacción en los usuarios. Esto se debe principalmente a la baja capacidad para atender la demanda, dada la limitada oferta de especialistas. En este sentido, el objetivo de esta investigación es desarrollar una propuesta de mejora para optimizar el proceso de asignación de citas y la capacidad de atención en el servicio de consulta externa de medicina especializada. Para esto se analizaron los factores que influyen en los tiempos de espera y la capacidad de atención del sistema, evaluando el desempeño actual mediante indicadores clave de rendimiento a partir de un modelo de simulación empleando el software Flexsim® que permitió generar escenarios de mejora, considerando estrategias como la reasignación de recursos humanos y la programación de operaciones. Se identificó que la especialidad de medicina interna presenta la mayor problemática en términos de capacidad y tiempos de espera. Se evaluaron dos escenarios de mejora basados en aumentar la disponibilidad de especialistas en medicina interna. El escenario que generó un mejor resultado implicó contar con dos especialistas en medicina interna, uno a media jornada todos los días y otro a media jornada dos días a la semana. Lo anterior contribuye a aumentar la capacidad de atención, disminuir significativamente los tiempos de espera y optimizar la utilización de los recursos. Como trabajo futuro, se recomienda priorizar servicios críticos además de los más demandados, contemplar costos asociados a las mejoras y estudiar la implementación de tecnologías para optimizar los procesos.

Abstract ID 81 (Aula Magna, Tuesday 09:40-10:00)

### Maximal Covering Location with Partial Coverage for Second-Level Specialized Health Care Services

Rodolfo Mendoza-Gómez\* (Tecnológico de Monterrey)

[rodolfomendoza@tec.mx](mailto:rodolfomendoza@tec.mx) Roger Z. Ríos-Mercado

(Universidad Autónoma de Nuevo León)

The accessibility of Second-level Health Care Services (SHCS) in developing countries is critically hindered by the scarcity of facilities and limited public sector investment. The distance that populations must travel to access these services significantly affects their accessibility. This paper presents a model aimed at optimizing the location of new SHCS sites within a network of public hospitals, addressing both partial coverage and variable radius considerations to account for diverse regional characteristics and population densities. Our model integrates multiple institutions, each providing differentiated levels of coverage to their own and external demands. The primary objective is to enhance overall demand coverage by strategically locating new sites, complementing existing facilities. Through a case study of the Mexican public health system, we evaluate four specialized SHCS, demonstrating the practical benefits of our model. The results highlight the model's efficacy in resource planning, showcasing significant improvements in demand coverage. This work not only provides valuable insights for policymakers in the health sector but also advances the application of optimization tools in health care logistics, offering a robust framework for future research and practical implementation.

Abstract ID 82 (Aula Magna, Tuesday 10:00-10:20)

### Programación de citas de consulta externa: predicción de inasistencia y asignación de recursos.

David Barrera Ferro\* (Pontificia Universidad Javeriana)  
barrera-o@javeriana.edu.co

La inasistencia a citas médicas tiene consecuencias negativas tanto para los pacientes como para los prestadores del servicio. Para los pacientes, puede resultar en diagnósticos tardíos y retrasos en el inicio del tratamiento. Para el prestador de servicio, se pueden incrementar los costos de atención, los tiempos muertos y el uso de servicios de urgencias. En este contexto, con el fin de mitigar el impacto en el sistema, diferentes investigaciones han examinado el uso de reglas de overbooking. El principal riesgo de usar esta aproximación, sin embargo, es que los niveles de inasistencia sean inferiores a lo proyectado. Cuando esto ocurre, múltiples pacientes se presentan para una misma cita, aumentando los tiempos de espera en los consultorios y sobrecargando a los médicos. Este trabajo estudia el uso predicciones individuales de inasistencia, para informar las reglas de overbooking. La hipótesis es que una estimación precisa de la probabilidad de asistencia, de cada paciente, puede mejorar el diseño de dichas reglas. Con este propósito, discuto los hallazgos de dos casos de estudio, desde dos puntos de vista: i) el desempeño de las técnicas de aprendizaje de máquina para predecir la inasistencia y ii) el impacto del overbooking en la calidad del servicio y la eficiencia del sistema.

## 6.9 Ports1

Room: Aula Magna, Tuesday 14:00-15:30

Session chair: Rosa G González Ramírez

Abstract ID 53 (Aula Magna, Tuesday 14:00-14:20)

### Modelo de Costos Logísticos Totales para el análisis estratégico del Corredor Bioceánico Capricornio

Rosa G González Ramírez\* (Universidad de los Andes Chile) rgonzalez@uandes.cl Luis M. Ascencio C. (Universidad de los Andes Chile)

El corredor bioceánico Eje Capricornio comprende 6 regiones de Brasil, Paraguay, Argentina y Chile. Esta conexión entre el atlántico y pacífico representa una alternativa al actual flujo de mercancías de comercio exterior de esta zona que tradicionalmente emplean como puertos de salida aquellos ubicados en el atlántico, siendo el Puerto de Santos en Brasil y el de Buenos Aires en Argentina los principales puertos de entrada o salida de estas mercancías. Para que la construcción de la carretera bioceánica tenga un impacto positivo en las actuales cadenas logísticas y más aún, capte y genera nuevas, se deben generar en paralelo mejores condiciones de infraestructura y servicios logísticos. La región de Antofagasta en la Macrozona Norte de Chile está geográficamente ubicada en un sector estratégico del corredor y que pudiera convertirse en un Hub y Gateway comercial y logístico para Sudamérica hacia países del Asia-Pacífico. En este trabajo se propone una metodología de análisis basada en un modelo de costos logísticos totales de comercio exterior que permita identificar las oportunidades de captación de cargas por los puertos del norte de Chile, y a su vez, determinar cuáles serían las inversiones necesarias y niveles de servicio de los puertos del norte de Chile para captar dichas cargas. El modelo propuesto tiene la novedad de considerar funciones de costos de transporte internacional, que en otros modelos no han sido considerados ya que el análisis no considera carga en tránsito. Para validar el modelo propuesto, se evalúa un grupo de productos y cadenas logísticas priorizadas que actualmente realizan transacciones comerciales con los mercados objetivos, bajo un análisis de escenarios y proyecciones de crecimiento en demanda y proyectos de infraestructura. Los resultados permiten identificar oportunidades de cargas viables de captar, apoyando a los planificadores de política

pública a priorizar inversiones y necesidades de intervención.

Abstract ID 99 (Aula Magna, Tuesday 14:20-14:40)

### Análisis de la Eficiencia Operativa de Puertos de Contenedores en Regiones en Desarrollo mediante Machine Learning y DEA Bootstrap

Aaron Guerrero Campanur\* (TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Uruapan)  
aaron.gc@uruapan.tecnm.mx Jose Humberto

Ablanedo-Rosas (University of Texas at El Paso); Elias Olivares-Benitez (Universidad Panamericana); Michael Garcia (University of Texas at El Paso)

El objetivo de este estudio es incorporar un enfoque de machine learning al comparar la eficiencia operativa de 40 puertos de contenedores ubicados en cinco regiones en desarrollo diferentes, incluidas África del Norte, África Occidental, América del Sur, América del Norte y Central, y el Caribe. Un análisis envolvente de datos (DEA) con Bootstrap revela que siete de cada diez pares de regiones geográficas difieren en sus puntajes de eficiencia operativa, lo que puede explicarse por la diversidad de las regiones, las diferencias en la infraestructura portuaria y la heterogeneidad de sus operaciones portuarias de contenedores. Por lo tanto, este estudio aplica un enfoque de machine learning para agrupar los puertos de contenedores por infraestructura similar en lugar de por región geográfica. La infraestructura de los puertos se definió en términos de longitud de muelle, superficie terrestre, longitud de calado y número de atracaderos. Los resultados preliminares de este estudio confirman que la heterogeneidad de la infraestructura se puede abordar mediante la utilización de un algoritmo de un enfoque de machine learning no supervisado. Las oportunidades de mejora son más fáciles de identificar y aplicar cuando se comparan puertos con infraestructura similar. Keywords: Machine learning, Cluster analysis, Análisis Envolvente de Datos, Bootstrap, Puertos, Contenedores, Eficiencia.

Abstract ID 295 (Aula Magna, Tuesday 14:40-15:00)

### Análisis de eficiencia de terminales portuarios multipropósito latinoamericanos basado en el modelo Slacks-Based Measure (SBM)

Magdiel Andrés Agüero-Tobar\* (Universidad de Talca)  
magdiel.aguero@utalca.cl Marcela C. González-Araya (Universidad de Talca); Rosa G González Ramírez (Universidad de los Andes Chile)

El transporte marítimo, crucial para el comercio global, constituye más del 80% del movimiento total de mercancías. El aumento en el transporte de contenedores desafía la eficiencia portuaria. Los puertos latinoamericanos en particular movilizaron unos 30 millones de TEUs en 2021, representando cerca del 3,5% del movimiento mundial. Estos puertos son esenciales como puntos de conexión entre diversas regiones, generando empleo y atrayendo inversión extranjera. Sin embargo, enfrentan problemas como la congestión y la falta de infraestructura, lo que plantea oportunidades para mejorar su eficiencia y competitividad. En este estudio, se realiza un análisis de eficiencia entre puertos del Pacífico y del Atlántico, utilizando modelos de Data Envelopment Analysis (DEA). Específicamente, se usa el modelo Slacks-Based Measure (SBM), el cual evalúa la eficiencia considerando sólo holguras, tanto de las entradas, como de las salidas, adaptándose mejor al contexto portuario al considerar todas las fuentes de ineficiencia. En este estudio se analizaron puertos multipropósito de Latinoamérica, incluyendo puertos de Brasil, Chile, Argentina, Perú y Colombia. Las variables de entrada utilizadas fueron la longitud de muelles, grúas de muelle equivalentes y el máximo calado del muelle. Por otro lado, la variable de salida considerada fue la transferencia de carga contenerizada. Los resultados al aplicar el modelo SBM permitieron establecer un ranking de eficiencia de los puertos latinoamericanos evaluados, donde los puertos de Brasil fueron los más eficientes. Además, se propusieron metas para los puertos ineficientes y recomendaciones para la captación de carga.

*Abstract ID 11 (Aula Magna, Tuesday 15:00-15:20)*

### **On the berth allocation problem under disruptive events for a multipurpose terminal**

Rosa G González Ramírez \* (Universidad de los Andes Chile) [rgonzalez@uandes.cl](mailto:rgonzalez@uandes.cl) Karol Suchan (Universidad Diego Portales); Eduardo Lalla-Ruiz (University of Twente)

Maritime ports are strategic nodes in the global transport chain and play an important role in the efficiency of cargo transport as transfer nodes. One of the most important planning decisions at the sea-side interface is the berth allocation problem (BAP), which consists of determining the berths' assignment to the incoming vessels in a port terminal such that spatial and temporal constraints are respected while minimizing vessel handling times. In this paper, we address the berth allocation problem considering the operations of a multipurpose terminal in Chile. Several terminals operate in the port and there exists a regulation that determines priorities for the incoming vessels and preemption of vessels is allowed. The port has recently suffered from weather surges or swells which resulted in port closures that affect the operations and seaside plans, in addition to more typical disruptions such as delays in the arrival times of vessels and black sailings. We propose a rolling horizon methodology and an extension to the generalized set partitioning-based formulation proposed by Christensen and Holst (2008). We generated some instances to test the proposed approach based on historical data provided by the port and derive some recommendations. References Christensen, C. G., & Holst, C. T. (2008). Berth allocation in container terminals. Master's thesis, Technical University of Denmark.

## **6.10 Red-M2**

*Room: Aula Panamericana, Tuesday 14:00-15:30*

Session chair: Jônatas Almeida

*Abstract ID 72 (Aula Panamericana, Tuesday 14:00-14:20)*

### **Sustainability Index for Culinary Preparations Considering a Sample of Habitual Dishes from the Chilean Diet**

Andrea T Espinoza Pérez\* (Universidad de Santiago de Chile) [andrea.espinozap@usach.cl](mailto:andrea.espinozap@usach.cl) Rodrigo Contreras (Universidad de Santiago de Chile); Andrea T Espinoza Pérez (Universidad de Santiago de Chile)\*; Paola Cáceres (Universidad de Chile)

The production and distribution of food exerts a significant influence on the environment, contributing to climate change, biodiversity loss, and ecosystem degradation. In this context, sustainability in food systems is a fundamental pillar to mitigate these impacts. Adopting sustainable food practices implies reducing the environmental footprint of our diet, promoting the efficient use of resources. Sustainable diets aim not only to benefit the environment but also to improve food security and public health. The objective of this study is to propose a sustainability index for culinary preparations, considering the typical Chilean diet as a case study. It is crucial to integrate sustainability criteria into food choices, thereby supporting the conscious decision-making of consumers. Using a methodological approach based on Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), the Analytic Hierarchy Process (AHP) is employed for prioritizing among various sustainability criteria, which are then processed with the Interactive and Multi-Criteria Decision Making (TODIM) method to generate a ranking of different culinary preparations from the Chilean diet. This methodology integrates multiple criteria, evaluating different tracers and dimensions of sustainability, which have been previously validated. The results obtained not only highlight the index as a tool that aids in promoting sustainable eating habits but also marks a signifi-

cant step toward integrating various sustainability criteria into food choices.

*Abstract ID 346 (Aula Panamericana, Tuesday 14:20-14:40)*

### **The multicriteria ranking problem based on the outranking and the evidential reasoning approaches**

Jesus Aram A Manriquez Huizar\* (Universidad Autonoma de Occidente ) [addfgvc6@gmail.com](mailto:addfgvc6@gmail.com) marco a cortes (universidad autónoma de occidente); Juan C Leyva-Lopez (Universidad Autónoma de Occidente)

This paper presents a new decision support system for solving multicriteria classification problems using evidentiary reasoning and top-classification approaches. The method consists of two phases: 1. The first phase involves creating a comprehensive belief decision matrix by comparing pairwise alternatives based on the evidentiary reasoning approach. 2. The second phase includes using this matrix to generate a partial pre-order. The first phase of the method requires the introduction of criteria evaluations for the alternatives, known as a decision matrix, and preference information, including weights, thresholds, and other parameters. The second phase employs the evidentiary reasoning algorithm to amalgamate pairwise preferences of different criteria expressed in belief decision matrices, culminating in a comprehensive belief decision matrix. This system is designed to guide decision makers and its practical application is illustrated by an example. In order to measure the effectiveness of the program, a case study was used. It is expected to be able to prove the effectiveness with more case studies.

*Abstract ID 175 (Aula Panamericana, Tuesday 14:40-15:00)*

### **A decision model for selecting contractors in Design-Build Procurement incorporating social sustainability criteria**

George Da Mota Passos Neto\* (Universidade Federal de Pernambuco) [george.mpassos@ufpe.br](mailto:george.mpassos@ufpe.br) Luciana H Alencar (Universidade Federal de Pernambuco); Rodolfo Valdes-Vasquez (Colorado State University)

In the realm of public procurement, the process of selecting contractors is pivotal for ensuring project success and societal welfare. Design-build (DB) procurement process is one of these in which the owner consolidates design and construction services into a single contract from one legal entity known as the design-builder. The design-builder guarantees the design's quality and assumes responsibility for the expenses, as well as any mistakes or oversights that arise during construction. Thus, DB method is often employed for green or sustainable projects due to its capacity for integration and collaboration from the early stages of the project to the completion of construction. However, despite most of the contractor selection procurement process utilizes multiple-criteria methods, there is often a lack of incorporation of criteria related to social sustainability. Therefore, in addition to the usual procurement criteria, this study has also considered social sustainability criteria such as impacts in community, ecological impact, occupational safety and health, and diversity. To aggregate the preferences of the decision-makers, the ELECTRE-GD method was applied. Hence, this study proposes the incorporation of social sustainability criteria for the selection process of contractors, in a DB procurement process in a Brazilian case, using multiple criteria decision-making.

*Abstract ID 197 (Aula Panamericana, Tuesday 15:00-15:20)*

### **Multi-criteria model for planning support strategies for communities of native communities in the amazon**

Jônatas Almeida\* (Universidade Federal de Pernambuco) [jonatasaa@yahoo.com.br](mailto:jonatasaa@yahoo.com.br) Arsênio Gomes Neto (Universidade Federal de Pernambuco); Níssia C R

Carvalho Rosa Bergiante (Fluminense Federal University (UFF)); Juliana Alves (Universidade Estadual do Tocantins); Ailson Picanço (Universidade do Estado do Pará); Mischel Carmen Belderrain (Instituto Tecnológico de Aeronáutica)

Climate change disrupts natural weather patterns, affecting both ecosystems and communities, especially the native peoples of the Amazon. These rapid changes make it difficult for ecosystems to adapt and increase climate unpredictability, making planning social, economic and environmental actions more challenging. Indigenous peoples, often far from urban centers and closely linked to natural environments, face additional difficulties due to a lack of access to essential services, such as health and education. Furthermore, deforestation and conflicts with farmers and miners contribute to its vulnerability. Climate change has direct impacts on the health of these communities, increasing the risks of water-borne diseases, such as dengue fever and malaria, and worsening food and water insecurity. Therefore, it is clear that the definition of strategies to support native communities in the Amazon must consider multiple objectives associated with the different impacts caused by climate change and the challenges faced by the communities. In this context, the use of multi-criteria decision aid (MCDA) models can be useful to clarify priorities in planning strategies, guiding the implementation of potential actions and investments that can support native communities in the Amazon. The Amazon region of South and Southeast Pará has an indigenous population of at least 12 thousand individuals from 5 different peoples. Data from these communities can be obtained from the Information Technology Department of the Unified Health System (DATASUS), on mortality, live births, notifiable diseases, primary care, physical and human resources in health, among others. Furthermore, the use of MCDA approaches can also contribute to making decisions more transparent, which is of special interest to public authorities, who are primarily responsible for these communities.

## 6.11 AI4AgroIB2

Room: Auditorio Santander Sur, Tuesday 16:00-17:30  
Session chair: Angel Cobo

Abstract ID 156 (Auditorio Santander Sur, Tuesday 16:00-16:20)

### Improving Commodity Price Forecasting: A Case Study on Granny Smith Apple Fluctuations Using Extreme Value Techniques and Machine Learning Methods

Myriam Raquel Gaete\* (Universidad Autónoma de Chile) [myriam.gaete@uautonoma.cl](mailto:myriam.gaete@uautonoma.cl) Marcela C. González-Araya (Universidad de Talca)

Improving the prediction of export product prices is crucial for export companies negotiating contracts along the supply chain. In this study, we employ extreme value techniques to normalize price fluctuation data, followed by applying machine learning methods to forecast future price trends. We apply this methodology to a case study focused on estimating the export price of the Granny Smith apple. Our results demonstrate accurate price fluctuation forecasts, with a mean square error (MSE) less than 1. Furthermore, our proposed methodology is not only effective but also simple to implement, requires minimal computational resources, and is suitable for execution on personal computers.

Abstract ID 63 (Auditorio Santander Sur, Tuesday 16:20-16:40)

### Deep transfer learning for body weight prediction in fattening animals: A case applied to pigs

Nicolas A Reyes-Reyes\* (Universidad de Talca)

[nicolasreyes@utalca.cl](mailto:nicolasreyes@utalca.cl) Lluís Pla (University of Lleida); Pol Llagostera Blasco (Universitat de Lleida); Mihai-Catalin Doja (University of Lleida); Marcela C. González-Araya (Universidad de Talca)

Body weight in pigs is a key indicator for controlling fattening and production performance and animal health care. Recently, image-based methods and classical machine learning techniques have been applied for an estimation of the body weight of pigs. However, these methods require expert knowledge to extract morphological measurements in pig images and achieve high predictive rates. For this reason, an end-to-end automatic approach is introduced through deep learning techniques for body weight estimation in pigs from top-down images. Thus, convolutional neural network models are designed from segmentation to prediction of body weight values. Consequently, lightweight network architectures and transfer learning are considered in order to yield this approach an alternative for industrial environments that operate in real time. This proposal was applied to a real case study of a pig company in the city of Lleida, Catalonia, Spain. Preliminary results show that the weight of fattening pigs can be estimated with MAE and RMSE measurements under 3.2 and can be reduced even further by eliminating other sources of noise in the pig images. Hence, these results are promising since the body weight of pigs can be estimated automatically, avoiding the calculation of measurements that may vary depending on the breeds analyzed. Therefore, our proposal could provide an assistance tool to the personnel in charge of weighing pigs through a computer vision system that supports decision-making.

Abstract ID 16 (Auditorio Santander Sur, Tuesday 16:40-17:00)

### Optimization of pig collection for slaughtering

Lluís Pla\* (University of Lleida) [lluismiquel.pla@udl.cat](mailto:lluismiquel.pla@udl.cat) Yun Bao (University of Lleida); Pol Llagostera Blasco (Universitat de Lleida)

Currently, pigs are predominantly fattened within intensive industrial operation, with fattening farms adhering to an all-in-all-out management policy. The duration of the fattening phase depends on initial weight, batch uniformity, feeding regimen, growth trajectory, incentive structures, and supply chain management protocols. Despite uniform dietary provisions, pigs exhibit divergent growth rates, resulting in staggered attainment of market weight, thereby rendering partial sales more economically advantageous. Subsequent to the departure of outgoing batches and preceding the arrival of new cohorts, facilities undergo thorough cleansing and sanitization processes. The perspective of an abattoir, which collects fattened pigs from diverse farms within a shared supply chain framework, remains unexplored. Vertically integrated farms typically channel their entire output to a singular abattoir pursuant to supplier agreements forged with integrator entities, indicative of enduring contractual ties. The orchestration of pig collection routes and their subsequent arrival at the abattoir necessitates meticulous scheduling in advance, accounting for uncertainties in pigs' liveweight to mitigate workload surges and ensure equitable abattoir operations. The modeling approach is a vehicle routing problem imbued with demand uncertainties, given that deliveries hinge upon the pigs' inventory levels. Consequently, the overarching goal is to devise a mixed-integer linear programming (MILP) model to optimize the daily routing of trucks and the transportation of fattened pigs to the abattoir. To this end, a metaheuristic algorithm is posited as a means to approximate solutions to the formulated model and to streamline transportation planning endeavors.

Abstract ID 196 (Auditorio Santander Sur, Tuesday 17:00-17:20)

### Modelos predictivos de aprendizaje profundo en el sector agrícola

Angel Cobo\* (Universidad de Cantabria) [acobo@unican.es](mailto:acobo@unican.es) Rocio Rocha (Universidad de Cantabria); Lina Albor

(Universidad de Cantabria)

Una de las tareas básicas del aprendizaje automático es realizar predicciones a futuro basadas en comportamientos o características observadas, reduciendo de esta manera la incertidumbre y mejorando el proceso de toma de decisiones. Las técnicas de aprendizaje profundo (deep learning) tratan de minimizar la intervención humana en el aprendizaje, y dentro de ellas destacan los modelos basados en unidades computacionales que imitan el funcionamiento de las neuronas cerebrales. En este trabajo se realiza un análisis comparativo de diferentes enfoques neuronales para abordar problemas de predicción de producción y precios de productos agrícolas. La obtención de predicciones de diferentes variables vinculadas con el sector primario resulta esencial para desarrollar políticas y garantizar la estabilidad de la cadena de suministro y la sostenibilidad del sector. Sin embargo, es una tarea compleja por el número de factores que influyen (aspectos ambientales, climatológicos, demandas de mercados, factores sociales, ) además de la dificultad para acceder a grandes volúmenes de datos o series temporales con el suficiente número de observaciones. En estas situaciones, diferentes estudios ponen de manifiesto que los modelos de aprendizaje profundo suelen ser una alternativa mejor a los enfoques estadísticos más tradicionales. Estos modelos son capaces de aprender relaciones temporales a corto y largo plazo en contextos de alta complejidad. El trabajo ilustra la potencialidad de las técnicas de aprendizaje profundo en labores de predicción en el sector primario a través de un caso práctico relacionado con la producción del aguacate en Colombia. Se hace uso de datos económicos y climatológicos a escala regional para explorar las capacidades predictivas de modelos autorregresivos de redes neuronales artificiales, modelos de redes recurrentes y computación de reservorio. El trabajo analiza las ventajas e inconvenientes de cada modelo a través de diferentes pruebas experimentales.

## 6.12 Combinatorial Optimization I

Room: G32, Tuesday 09:00-10:30

Session chair: Juan Jose Salazar Gonzalez

Abstract ID 352 (G32, Tuesday 09:00-09:20)

### Heuristic algorithms for graph burning

José Alejandro Cornejo-Acosta\* (Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón)

[alejandro.ca@purisima.tecnm.mx](mailto:alejandro.ca@purisima.tecnm.mx) Blanca Verónica

Zúñiga-Núñez (Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón); Valentin Calzada-Ledesma

(Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón);

Gabriela Alva-Zavala (Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón); Jesús García-Díaz (Consejo

Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías); Carlos Segura González (Centro de Investigación en Matemáticas)

The graph burning problem (GBP) is an NP-hard combinatorial optimization problem that helps quantify how vulnerable a graph is to contagion or how quickly information spreads through it. This problem aims to find the minimum length sequence of vertices that burns all the vertices when a determined burning process is followed. The GBP has been approached through mathematical and constraint satisfaction formulations, exact algorithms, evolutionary computing, heuristics, and approximation algorithms. Due to the complex nature of this problem, heuristics and metaheuristics have become relevant to finding feasible and near-optimal solutions. This talk presents recent advances in heuristic algorithms for the GBP, including the relationship between the GBP and the clustered maximum coverage problem, which generalizes the canonical maximum coverage problem. Then, a novel deterministic greedy heuristic that exploits this relationship is presented, which can find optimal and best-known solutions in state-of-the-art benchmarks with up to 102400 vertices. The advantages and limitations are discussed. In addition, evolution-

ary computing has proved effective in finding feasible solutions for the GBP. However, one of its main issues is premature convergence. That is, the diversity of solutions is quickly lost, and no appropriate levels of exploration are reached to find good quality solutions. Thus, an evolutionary computing algorithm with an explicit diversity management technique is also explored. The purpose of this approach is to avoid premature convergence. Similar state-of-the-art approaches have proven effective for other optimization problems. Finally, possible future research directions concerning the GBP in different research fields are discussed.

Abstract ID 272 (G32, Tuesday 09:20-09:40)

### Branch-and-Cut Approach for the Balanced Team Orienteering Problem with Nonidentical Vehicles

Vincent Boyer\* (Universidad autónoma de Nuevo León)

[vincent.boyer@uanl.edu.mx](mailto:vincent.boyer@uanl.edu.mx) M. Angélica Salazar-Aguilar

(Universidad Autónoma de Nuevo León ); Gabriela

Sánchez-Yepe (Universidad Autónoma de Nuevo León)

In this work, we introduce a novel branch-and-cut approach to address a variant of the team orienteering problem (TOP), focusing on achieving a balanced distribution of rewards among a fleet of nonidentical vehicles while the route duration of each vehicle does not exceed a predefined time limit. Indeed, the difference with the TOP lies in the use of a different objective function aiming at balancing the scores collected by the vehicles and a constraint related to vehicle-node compatibility. This problem draws inspiration from the operational challenges faced by a real telecommunications service company. We model the problem using a nondirected graph and introduce different classes of valid inequalities to strengthen the formulation. Some of them are inherited from existing works while others are new and tailored to our formulation. We assess the effectiveness of our approach through extensive experiments using benchmark instances from existing literature. Our results demonstrate that the proposed method effectively handles instances with up to 100 customers, with problem difficulty being significantly influenced by the maximum route duration. Additionally, when compared to a previously proposed heuristic and a mixed integer linear programming (MILP) formulation, our branch-and-cut algorithm shows favorable performance in terms of computational time and the number of instances solved to optimality.

Abstract ID 325 (G32, Tuesday 09:40-10:00)

### Mathematical Formulations for Consistent Traveling Salesman Problems

Juan Jose Salazar Gonzalez\* (Universidad de La Laguna)

[jjsalaza@ull.es](mailto:jjsalaza@ull.es) Daniel Diaz Rios (Universidad de La

Laguna)

The consistent travelling salesman problem looks for a minimum-cost set of Hamiltonian routes, one for every day of a given period. When a customer requires service over several days, the service times on different days must differ by no more than a given threshold (for example, one hour). We analyze two variants of the problem, depending on whether the vehicle is allowed to wait at a customer location before its service starts. There are three mathematical models in the literature for the problem without waiting times, and this paper describes a new model appropriated to be solved with a branch-and-cut algorithm. The new model is a multi-commodity flow formulation on which Benders Decomposition helps manage a large number of flow variables. There were no mathematical models in the literature for the variant with waiting times, and this paper adapts the four mathematical models to it. We analyze the computational results of the formulations on instances from the literature with up to 100 customers and three days. Based on an article recently published in EJOR (<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.08.021>)

Abstract ID 171 (G32, Tuesday 10:00-10:20)

### An approximation algorithm for the minimum hub cover in arbitrary graphs

Joel A. Trejo\* (CIMAT) [joel.trejo@cimat.mx](mailto:joel.trejo@cimat.mx) Jose Fernandez (Zepeda); Candelaria Sansores (Universidad del Caribe); Jesus Garcia (INAOE)

Let  $G=(V,E)$  be an undirected graph a subset  $H$  of  $V$  is a hub cover if for each edge  $(u,v)$  in  $E$ , at least one of the following is true: -  $u$  belongs to  $H$  -  $v$  belongs to  $H$  -  $r$  for a vertex  $r$  that is neighbor of both  $u$  and  $v$ . This problem has important applications in data sciences, and other fields of engineering. In this talk, we prove that the problem of computing a minimum hub cover for arbitrary graphs is NP-hard. Additionally, we provide an approximation algorithm for this problem.

## 6.13 AI4AgroIB1

Room: Auditorio Santander Norte, Tuesday 14:00-15:30

Session chair: Víctor M Albornoz

Abstract ID 18 (Auditorio Santander Norte, Tuesday 14:00-14:20)

### Estrategias de comercialización efectivas para una granja de engorde considerando diferentes patrones de crecimiento

Pol Llagostera Blasco\* (Universitat de Lleida) [pol.llagostera@udl.cat](mailto:pol.llagostera@udl.cat) Yun Bao (University of Lleida); Lluís Pla (University of Lleida)

La producción porcina moderna está altamente industrializada y especializada, lo que exige una toma de decisiones más eficiente en una producción porcina cada vez más compleja para lograr beneficios óptimos. En este trabajo se investiga la entrega de cerdos de engorde desde las granjas de engorde a los mataderos en función de distintos patrones de crecimiento. Se ha desarrollado una estrategia de comercialización óptima para maximizar los beneficios mediante la adopción de una estrategia de gestión integral. Los datos reales de crecimiento de cerdos de engorde se agruparon en tres clusters basándose en el algoritmo Kmean y se ajustaron con el modelo de crecimiento animal Gompertz, respectivamente. Se analizaron y compararon la tasa de crecimiento, la aceleración del crecimiento y la tasa de crecimiento relativa de cada conglomerado. También se simuló una granja de engorde adoptando un modelo de programación lineal entera mixta (MILP) para evaluar parámetros específicos y desarrollar estrategias de comercialización óptimas que incluyeran calendarios de entrega de cerdos, análisis de costes y análisis de rentabilidad, que no requerían la medición y el control de los pesos individuales de los cerdos de engorde. Se realizaron análisis de sensibilidad de varios factores de producción clave que afectan a la rentabilidad final, como el precio de transacción del cerdo, el precio del pienso y la mortalidad del cerdo durante el engorde, y se desarrollaron estrategias de comercialización óptimas para cada escenario. En esencia, este estudio proporciona una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el gestor de la producción porcina y mejora la precisión en la toma de decisiones basándose en un conocimiento profundo de los patrones de crecimiento del ganado porcino.

Abstract ID 49 (Auditorio Santander Norte, Tuesday 14:20-14:40)

### Investigación Operativa para una Agricultura Sostenible en Países en Desarrollo con un Énfasis en los Pequeños Productores

Francisco Huguet\* (Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas") [fhuguet@uca.edu.sv](mailto:fhuguet@uca.edu.sv) Lluís Pla (University of Lleida); Mauricio Pohl (Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas"); Esteve Nadal-Roig (University of Lleida)

La agricultura en los países en desarrollo se caracteriza por una predominancia de la agricultura a pequeña escala y por una diversidad de desafíos que enfrentan los pequeños agricultores. Estos desafíos derivan de factores que incluyen desigualdades estructurales socioeconómicas específicas de estos países, así como de factores ambientales como el cambio climático. Los pequeños agricultores son más propensos a enfrentar problemas como la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático, la pérdida de biodiversidad, el uso sostenible de los recursos ambientales y el acceso a los diferentes mercados. Los métodos de investigación operativa han sido ampliamente utilizados como apoyo a la toma de decisiones en agricultura durante décadas. Este estudio revisa artículos que abarcan cuarenta y cuatro años de publicaciones que involucran la aplicación de métodos de investigación operativa a la agricultura en países en desarrollo. Los documentos se analizan desde varias perspectivas, incluyendo las escalas de modelización, los métodos de investigación operativa aplicados, las problemáticas abordadas, y cómo la sostenibilidad se ha considerado en los estudios y se ve reflejada en los modelos. Entre las tendencias observadas más relevantes se incluyen el creciente uso de escalas de micro-modelado, la diversificación de métodos, y una creciente aplicación de los modelos para analizar el impacto de políticas en los agricultores. Para concluir, el estudio destaca el desafío de la digitalización de la agricultura en los países en desarrollo, así como los posibles beneficios de combinar la investigación operativa con tecnologías de la información y la comunicación para respaldar el desarrollo agrícola sostenible en estas regiones.

Abstract ID 237 (Auditorio Santander Norte, Tuesday 14:40-15:00)

### Asignación multiperiodo de cultivos agrícolas y módulos transmisor-receptor para la implementación de telemetría remota

Silvia Dianne Florez Carreño\* (UNICAMP) [silviaflorezc8@gmail.com](mailto:silviaflorezc8@gmail.com) Carlos Julián Muñoz Quiroga (UNICAMP); Luis Fernando Rodriguez Jimenez (UNICAMP); Washington Alves de Oliveira (UNICAMP); Diego Fiorotto (UNICAMP)

La monitorización de cultivos se ha convertido en un tema relevante en el sector agrícola, ya que la detección rápida de problemas relacionados con la humedad, la temperatura y la intensidad de la radiación solar permite implementar planes de contingencia contra daños irreversibles. En este contexto, la telemetría se utiliza para supervisar de manera remota las variables que afectan la eficiencia de los procesos agrícolas. En términos generales, el proceso de telemetría consiste en asignar módulos transmisores-receptores a puntos predefinidos del cultivo, con el objetivo de monitorizarlo completamente y transmitir la información recolectada entre los módulos hasta llegar a la central. En un contexto dinámico, donde el tipo de cultivo cambia en cada periodo de tiempo, se requieren métodos que permitan seleccionar adecuadamente esos cultivos. Conforme a lo anterior, es necesario ajustar la configuración de monitorización, ya que las prioridades pueden variar según las diferentes características de los cultivos. Históricamente, se han utilizado formulaciones matemáticas para representar problemas de asignación, métodos de decisión multicriterio (MDMC) para la ordenación de alternativas y, más recientemente, métodos de aprendizaje de máquina (AM) para la previsión. La aplicación de estos métodos ayuda en la toma de decisiones fundamentadas en datos, mejora la gestión de recursos y busca resultados factibles y óptimos. El presente estudio tiene como objetivo optimizar la selección de tipos de cultivos agrícolas a múltiples periodos y la asignación de módulos transmisores-receptores, mediante métodos de AM y MDMC para la selección del cultivo y formulaciones matemáticas para la asignación de módulos. Para validar la propuesta, se resolvieron ejemplares numéricos con resultados prometedores, ya que fue posible obtener soluciones óptimas en un tiempo de procesamiento computacional viable. Palabras clave: Telemetría, agricultura, asignación multiperiodo.

*Abstract ID 275 (Auditorio Santander Norte, Tuesday 15:00-15:20)*

### A precision agriculture approach for a crop rotation planning problem with adjacency constraints

Víctor M Alborno\* (Universidad Técnica Federico Santa María) [victor.alborno@usm.cl](mailto:victor.alborno@usm.cl)

This paper presents the management zone delineation and the crop rotation planning problems in an integrated precision agriculture framework. The zoning problem allows to define relatively homogeneous management zones regarding their soil properties, and for which specific rates of agricultural inputs are necessary. From a sustainable point of view, cropping of species from different botanic families in adjacent zones at the same time can aid pest control and a reduction in the use of pesticides. More specifically, we propose a novel linear binary integer program for an integrated zoning and crop rotation planning problem with adjacency constraints. In this model, we maximize the incomes of the crop rotation plan subject to zoning constraints and adjacency constraints on crop families. The proposed model is solved using a column generation method with column-dependent-rows as an algorithmic strategy. Results from a set of instances show the relevance of the proposed model as well as the need to have an algorithmic technique for solving the proposed model, being able to find acceptable feasible solutions to medium and large size problems that cannot be solved directly by a commercial software.

## 6.14 Stochastic Programming1

*Room: Central12, Tuesday 14:00-15:30*

Session chair: Jorge R Vera

*Abstract ID 45 (Central12, Tuesday 14:00-14:20)*

### Test sets to compute opportunity cost matrices

Janosch Ortmann\* (UQAM) [ortmann.janosch@uqam.ca](mailto:ortmann.janosch@uqam.ca)  
Yuchen Ge (Oxford University); Janosch Ortmann (UQAM)\*; Walter Rei (UQAM)

In stochastic programming, scenarios approximate distributions of unknown parameters, but in many applications the number of scenarios required to realistically model the uncertainty makes the optimization problem numerically intractable. This motivates the scenario reduction problem: by finding a smaller subset of scenarios, reduce the numerical complexity while keeping the error at an acceptable level. Recently, problem-based scenario reduction methods based on opportunity cost dissimilarities have shown to be effective. In this setting, opportunity cost means the cost of wrongly predicting scenario 1 when actually scenario 2 happens and can be viewed as a measure of how different these two scenarios are with respect to the optimisation problem at hand. In this talk, I will explain how test sets can be used to efficiently compute such opportunity cost matrices and describe new algorithms, based on ideas from algebraic geometry, to efficiently compute these test sets.

*Abstract ID 329 (Central12, Tuesday 14:20-14:40)*

### Ruteo de vehículos con consistencia en servicio y disrupciones en ruta

Guillermo I Bianchi\* (Universidad Católica del Norte) [guillermo.bianchi@alumnos.ucn.cl](mailto:guillermo.bianchi@alumnos.ucn.cl) Hernán Lespay (Universidad Católica del Norte); Esnil Guevara (Universidad Finis Terrae)

Esta investigación busca incorporar la aparición de eventos disruptivos en el modelo de ruteo de vehículos con consistencia en servicio y ventanas de tiempo (ConVRPTW). Los eventos disruptivos son eventos que ocasionan un quiebre en la continuidad de las actividades de un sistema de entregas. Esta clase de eventos se caracterizan por

tener una ocurrencia incierta y ser de impacto variable, por lo que su aparición en un sistema de entregas puede llegar a ser altamente perjudicial. Se propone un modelo de programación estocástica, con el fin de generar una solución robusta y eficiente en costo para ser capaz de enfrentar disrupciones en ruta.

*Abstract ID 102 (Central12, Tuesday 14:40-15:00)*

### Multistage stochastic optimization for operations planning: the infinite horizon approach

Bernardo Freitas Paulo Da Costa\* (FGV) [bernardo.paulo@fgv.br](mailto:bernardo.paulo@fgv.br)

Multistage stochastic optimization models are used in the energy sector for a variety of planning and operational decisions. Traditional models optimize over a finite planning horizon, which requires setting up ad-hoc terminal conditions, in many cases given as a terminal cost function which induces the water value along the planning horizon. We propose the use of periodic, infinite horizon models, which are better approximations of the long-term behaviour of the system, as a framework to calculate such terminal cost functions. The periodic nature of the model allows for a more efficient algorithm, and leads to a method that is naturally adapted to the system configuration. This is especially useful for the operation planning of hydrothermal power systems, where the water value is a key component of the operation strategy, as well as for the expansion planning of the system.

*Abstract ID 294 (Central12, Tuesday 15:00-15:20)*

### Robust Optimization for the design of capability-based modular organizations

Jorge R Vera\* (Department of Industrial and Systems Engineering, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile) [jver@uc.cl](mailto:jver@uc.cl) Luis San Martín (Pontificia Universidad Católica de Chile)

Several organizations need to define their structures so that they can fulfill a certain level of capabilities. A capability is an ability that the organization exhibits to accomplish an operational task. In some organizations, capabilities are related with minimal organizational modules called building blocks (BBs), which means that a BB delivers a particular capability. The design problem for these organizations is, then, the allocation and combination of different BBs to achieve a desired total capability to fulfill a certain demand or requirements. An example of this is in the defense area, where forces need to be organized so that they have appropriate capabilities to face an opponent, but the same problem is present in many other kinds of organizations, like first-aid response units, wildfire fighter teams, and project-based teams. This design problem exhibits a combinatorial nature but also several sources of uncertainties. In this research we propose a novel and tractable binary optimization model to allocate the BBs following an additive rule i.e., all modules contribute with a particular capability that is aggregated to reach the global capability balance. We use robust optimization to address uncertainties and reformulate some nonlinear constraints to make them tractable. We illustrate the models in an application to the defense sector and to wildfire fighter teams, and the results show that the robust solution at optimality can effectively control the effects of uncertainty, generating reasonable solutions from an implementation point of view.

## 6.15 Transport1

*Room: Auditorio Santander Sur, Tuesday 14:00-15:30*

Session chair: Juan Antonio Mesa

*Abstract ID 259 (Auditorio Santander Sur, Tuesday 14:00-14:20)*

### Grafos torneos para modelar un problema de

## tablas de tiempo para el transporte público

*Yasmin Agueda Ríos Solís\** (Tecnológico de Monterrey)  
[yasmin.riossolis@tec.mx](mailto:yasmin.riossolis@tec.mx)

Un digrafo sin lazos es un torneo en  $n$  vértices si para cada par de vértices existe una arista. Este concepto se puede generalizar para el caso de que los nodos se encuentren particionados en diferentes familias. En ese caso un torneo se obtendría si entre cada familia de vértices existe una única arista. Para el problema de tablas de tiempo lo que buscamos es precisamente maximizar el tamaño del torneo en donde una arista representa una sincronización (transfer existoso) entre un par de líneas de transporte público. Mostraremos la modelación, algunos ejemplos y las propiedades que se han derivado.

*Abstract ID 313* (Auditorio Santander Sur, Tuesday 14:20-14:40)

## Enfoque de programación matemática para el diseño de líneas de segundo nivel de transporte público

*Antonio Mauttone\** (Universidad de la República)  
[mauttone@fing.edu.uy](mailto:mauttone@fing.edu.uy) Nelson Connio (Universidad de la República)

Muchas ciudades medianas y grandes estructuran sus sistemas de transporte público en base a líneas troncales y alimentadoras. Mientras que las primeras brindan servicios de alta velocidad y capacidad entre puntos de alta demanda, las segundas brindan servicios complementarios para conectar zonas no alcanzadas por la red troncal, con estaciones de esta. Una tercera categoría incluye líneas que conectan diferentes puntos de la ciudad sin pasar por la red troncal. Denominamos líneas de segundo nivel a todas aquellas que no son troncales. Mientras las líneas troncales son operadas sobre corredores específicos (BRT, tranvía, metro), las de segundo nivel son operadas por vehículos tradicionales y utilizan la infraestructura vial de forma compartida con los automóviles particulares, lo cual limita la velocidad operativa que pueden desarrollar. En este trabajo consideramos el problema de definir un conjunto de líneas de segundo nivel, a partir de una división zonal de la ciudad, una matriz origen-destino de viajes demandados entre pares de zonas, una red troncal con topología y características operacionales definidas y una representación de la red vial sobre la cual se define la solución. El conjunto de líneas resultantes debe considerar los intereses de los usuarios y de los operadores. El problema se modela como una variante del diseño de redes con múltiples mercancías, costos fijos y variables, en base a una estructura de grafo específicamente definida. La metodología se prueba con datos de la ciudad de Montevideo, Uruguay, mediante experimentos numéricos diseñados para determinar el tamaño máximo de instancias resolubles y la sensibilidad de los resultados ante diferentes parámetros, en particular, la relación entre las velocidades operacionales de las redes troncal y de segundo nivel.

*Abstract ID 218* (Auditorio Santander Sur, Tuesday 14:40-15:00)

## Vehicle Scheduling in the Bus Rapid Transit System in Quito

*Luis M Torres\** (Escuela Politécnica Nacional)  
[luis.torres@epn.edu.ec](mailto:luis.torres@epn.edu.ec) Luis Lapo (Escuela Politécnica Nacional); Pamela Martínez (Escuela Politécnica Nacional)

Bus Rapid Transit (BRT) Systems have proven to be a cost-effective alternative for urban public transportation that has been adopted in many cities in Latin America. In this talk we present ongoing work on the fleet assignment optimization of a BRT system in Quito, an Andean city with more than two million inhabitants and around 370 sq km. The system is operated by a heterogeneous fleet of more than 150 high capacity buses driving among dedicated tracks, which carry around 380,000 passengers on more than 1,900 trips during a usual working day. We have formulated integer programming models for solving this multi-depot vehicle scheduling problem. Feasible bus

routes to serve the trips must comply with several additional constraints, such as having durations that are compatible with the driver assignment, which is solved as a following phase in the operational planning of the system. Moreover, since the public transport agency aims to gradually replace the bus fleet with electric buses in the next years, the models must also accommodate the possibility of considering battery charging times within the routes. The results of the first instances solved indicate remarkable optimization potential for the waiting times of vehicles between scheduled trips, when compared to the current bus schedules.

*Abstract ID 159* (Auditorio Santander Sur, Tuesday 15:00-15:20)

## A Framework for Modeling Resilient Rapid Transit Network Design

*Juan Antonio Mesa\** (Universidad de Sevilla) [jmesa@us.es](mailto:jmesa@us.es)  
 David Canca (Universidad de Sevilla)

Network Design is the first step of the sequential railway planning. The following phases: line planning, timetabling, rolling-stock and crew management, etc., depend on the railway layout decided in the first step. Furthermore, some characteristics as people coverage, demand covering, efficiency, costs and others strongly depend on the physical networks (1). Usually in transit systems Network Design includes the location of the lines (stations and stretches) composing the network. These networks suffer daily failures of their components (vehicles, power, and telecommunication systems, etc.) and others due to external or environmental causes, as floods and snowstorms, but also to sabotages and terrorism attacks. The consequences are disruptions and perturbation to the usual functioning, the prevention of which often depends on the robustness of the network. Some efforts have been done to design less vulnerable networks, but the question of the rapidity of the recovering, which is a facet of the resilience, has not yet been researched (2). In this work, we describe the elements to be considered for mathematical programming modeling dealing with resilience: the settlement of the problem, the system performance to be used, the type and characteristics of the disruption, the resilience type, and the repairment systems. We also give some mathematical programming examples of resilience problems in the field of Rapid Transit Network Design and Line Planning, and hints on the way of solving them. (1) G. Laporte and J.A. Mesa, The Design of Rapid Transit Networks, Chapter 24 in Location Science (Eds. G. Laporte, S. Nickel and F. Saldanha de Gama), Springer 2020. (2) R. Casanova, R. Criado, J.A. Mesa and M. Romance, A comprehensive approach to discrete resilience of complex networks, Chaos, 2023, 33(1), 013111.

## 6.16 Waste1

*Room: D33, Tuesday 16:00-17:30*

Session chair: Víctor Blanco

*Abstract ID 250* (D33, Tuesday 16:00-16:20)

## Planificación de rutas de recolección de basura favoreciendo el flujo vial en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México

*Alejandro Guevara\** (UANL)  
[alejandroguevaramr@uanl.edu.mx](mailto:alejandroguevaramr@uanl.edu.mx) Iris A Martínez Salazar (Universidad Autónoma de Nuevo León)

Los servicios relacionados con la recolección y gestión de residuos son esenciales en toda zona urbana, aspectos vitales para cualquier comunidad tales como la salud pública y la sustentabilidad del medio ambiente, además de la estética urbana son afectadas directamente por la eficiencia y el buen funcionamiento estratégico y operativo de este servicio público. La recolección de desechos en zonas urbanas se realizan en vehículos pesados, de dimensiones que exceden a las de

un vehículo urbano promedio y requieren de hacer pausas constantes para maniobras propias de su función, impactando negativamente al flujo vial, generando en algunos puntos congestión en las vías públicas. Un estudio realizado en el 2022 clasifica a Monterrey, Nuevo León, México como la novena ciudad con más congestión vehicular en el mundo, enfrentando un desafío significativo en la gestión de su movilidad urbana. La excesiva congestión no solo afecta la calidad de vida, sino que también complica la eficiencia en la recolección de basura. Las características del sistema de recolección de residuos urbanos en Monterrey, permiten analizarlo haciendo una analogía al problema de ruteo de vehículos. El problema bajo estudio contempla capacidades de los camiones y de los contenedores, aspectos laborales de tiempo de la jornada laboral y tiempos de descanso. Además, para favorecer el flujo vial, se definen puntos críticos de afluencia de vehículos, definiendo un área de impacto dentro de la cual se asignan periodos de tiempo en los que no es deseable que exista recolección de desperdicios. Se consideran dos objetivos: minimizar la distancia total recorrida por los camiones recolectores y minimizar los puntos que se visiten en horario no deseable. En este trabajo se propone un modelo matemático y un algoritmo aproximado para dar respuesta a un caso de estudio presente en un cuadrante de la zona centro de la ciudad de Monterrey.

*Abstract ID 257 (D33, Tuesday 16:20-16:40)*

### **A hybrid proposal of simulated annealing and tabu search to solve a waste collection problem**

*Gabriel Policroniades\** (IIMAS UNAM)

[gpolicroniades@gmail.com](mailto:gpolicroniades@gmail.com) Katya Rodriguez-Vazquez  
(Universidad Nacional Autónoma de México)

The CDMX (Mexico City) waste collection process can be viewed as a vehicle routing problem, expressly as a CVRP with collection and delivery. Generally, the collection process consists of traveling through a set of nodes through the city using vehicles with a fixed capacity; Once the collection process has been completed, the delivery process is carried out to a single available node. As in all VRP models, each of the vehicles must start and end in the same central depot. The solution process is divided into three main phases; The first of them, the generation of the initial random solution, is executed through a greedy algorithm; The second, the load balancing process, carried out through a tabu search algorithm, aims to ensure that each of the vehicles meets a minimum utilization percentage; and finally the third phase, route optimization, uses a hybrid algorithm between a Tabu Search and a Simulated Annealing. In this last phase, the process is divided into horizontal and vertical exchanges. Horizontal exchanges are applied to the interior of each route through a 2-opt; while vertical exchanges, also defined by a 2-opt, apply to a pair of nodes belonging to different vehicles. In this way, the optimization process through hybridization can be carried out in four different ways; that is, applying the following combinations between algorithms depending on the type of movement: [Vertical (Tabu Search), Horizontal (Tabu Search)], [Vertical (Tabu Search), Horizontal (Simulated Annealing)], [Vertical (Simulated Annealing), Horizontal (Simulated Annealing)], [Vertical (Simulated Annealing), Horizontal (Tabu Search)]. Each of these hybridization proposals will be evaluated using different instances of benchmark CVRP problems like: Set M (Christofides, Mingozzi and Toth, 1979), and Uchoa et al. (2014) with 1001 nodes. This instances will be founded in: <http://vrp.gal-gos.inf.puc-rio.br/index.php/en/>

*Abstract ID 182 (D33, Tuesday 16:40-17:00)*

### **Development of a solution methodology using mathematical optimization techniques to solve an asymmetric capacitated vehicle routing problem associated with urban solid waste collection.**

*Alejandra María Restrepo\** (Universidad Autónoma de Manizales) [alejandra.restrepof@autonoma.edu.co](mailto:alejandra.restrepof@autonoma.edu.co) Orlando Valencia (Universidad Autónoma de Manizales); Eliana Toro (Universidad Tecnológica de Pereira)

The efficient management of municipal solid waste including household, agricultural, industrial and commercial waste, fundamental to the sustainability of cities, is considered one of the critical drivers of urban environmental management systems. Collection is the most integral management activity and can account for 70-85% of total costs, yet it often lacks efficient planning, including the need to optimize transport routes through technological solutions that enable efficient processes. For decades, much of the scientific effort has been focused on the development of techniques and algorithms for solving symmetric vehicle routing problems (VRP) with a common goal, to achieve increasingly faster algorithms capable of finding better solutions, improving the available techniques, which compete for increasingly narrower margins of time and goodness of solution, highlighting the need to generate solutions close to real operating conditions. Therefore, this study proposes a solution methodology using mathematical optimization techniques to solve an asymmetric capacitated vehicle routing problem (ACVRP) associated with municipal solid waste collection adapted to a variety of practical rules, such as that each route starts and ends at the depot, all demands are met, vehicle capacity is not exceeded, a customer is visited by only one vehicle, the sum of costs is minimized, and the distance matrix between nodes is asymmetric. In the first stage, initial solutions are identified based on the savings heuristic, which considers from the beginning the asymmetry of the distances, and the second stage is based on the development of trajectory metaheuristics that allow an improvement in the proposed solution to generate a solution close to the realities of the routing problem applications. As initial results, the initial solution has been implemented with potential optimums approaching validations in the literature specifically in asymmetric instances.

*Abstract ID 24 (D33, Tuesday 17:00-17:20)*

### **Location and Routing in the Waste to Biomethane Logistic Problem**

*Víctor Blanco\** (Universidad de Granada) [vblanco@ugr.es](mailto:vblanco@ugr.es)

In this work, we extend the model proposed in (Blanco, Hinojosa, Zavala, 2023) by analyzing different alternatives to incorporate routes of vehicles in different phases of this problem. Specifically, we provide models to determine the most efficient way of determining the routes of the vehicles through the farms (pick-up points) and the pre-treatment plants (delivery points), and/or routes that pick up the pre-treated product in the pre-treatment plants and deliver it to the anaerobic digestion plants. Among other alternatives, we study the problem with the hypotheses: each set of delivery points is allowed to serve a single cluster of pick-up points or multiple clusters, the routes for a single cluster of points are allowed to contain subtours or not, etc. The different alternatives provide different mathematical challenges both for modeling and solving the resulting problems.

## **6.17 Scheduling1**

*Room: Diseño2, Tuesday 16:00-17:30*

Session chair: Pedro Piñeyro

*Abstract ID 32 (Diseño2, Tuesday 16:00-16:20)*

### **Scheduling a Product-Mold-Machine Manufacturing System to Minimize Overtime**

*Mario C Vélez\** (Universidad EAFIT)  
[marvelez@eafit.edu.co](mailto:marvelez@eafit.edu.co)

This study presents a mathematical model designed to optimize the production process within a pillow manufacturing company, with a specific focus on minimizing overtime. The proposed mixed integer linear programming formulation aims at minimizing the time required for the final production run to complete. It strategically allocates molds, presses, and references for each production run while considering constraints such as preventing shortages and controlling inven-

tory capacity. Compatibility constraints between molds, presses, and pillow references are considered. Computational experiments results demonstrate the model's capability to find feasible and optimal solutions within designated time limits. However, instances where the best solution proves infeasible due to limited production time underscore the necessity for overtime work to meet demand. Overall, this mathematical model offers significant potential for enhancing resource allocation and improving production processes, ultimately fostering greater efficiency, profitability, and customer satisfaction.

*Abstract ID 59 (Diseño2, Tuesday 16:20-16:40)*

### Problema de máquinas paralelas no relacionadas con minimización de makespan, tiempos de preparación dependientes de la secuencia y recurso compartido sin traslape.

*Hector Roberto Garcia De Alba Valenzuela\**  
(TECNOLOGICO DE MONTEREY) [hrgarcia@tec.mx](mailto:hrgarcia@tec.mx)

El problema de secuenciación en máquinas paralelas no relacionadas con tiempos de preparación se presenta constantemente en las industrias, siendo dichos procesos de preparación un factor importante que merma la eficiencia y aumenta los costos de producción. Existen variantes de estos sistemas en los que los procesos de preparación se ven limitados por algún recurso adicional para su correcta ejecución: una variante poco estudiada es aquella en la que se considera al recurso adicional como un operador que pasara de maquina a máquina efectuando los procesos de preparación, generando para tal a su vez una secuencia de actividades. A dicho sistema se le denomina como  $R / s_{ijk} / C_{\text{max}}$  con recurso compartido sin traslape. Se presentan 6 modelos de optimización entera mixta análogos, basados en distintas características relevantes relacionadas con los tiempos de inicio y terminación de preparación y procesamiento. Se realiza una comparativa analítica sobre la complejidad de cada formulación y experimentación computacional para evaluar su desempeño. Los resultados indican que las formulaciones basadas en los tiempos de completación de la preparación son, en promedio, más eficientes al resolver un mayor porcentaje de instancias a optimalidad, a un tiempo computacional menor, y con porcentajes de gap más pequeños.

*Abstract ID 128 (Diseño2, Tuesday 16:40-17:00)*

### Algoritmos para un caso especial del Problema Multi-Período de Calendarización de Máquinas Paralelas

*Fernando G. Jiménez\** (Escuela Politécnica Nacional)  
[fernando.jimenez@epn.edu.ec](mailto:fernando.jimenez@epn.edu.ec) Luis M Torres (Escuela Politécnica Nacional)

Motivados por la tarea de optimizar la asignación de turnos de usuario a ventanillas en las agencias del Servicio de Rentas Internas del Ecuador, estudiamos un problema multi-período de calendarización de máquinas paralelas. Dados un conjunto de trabajos, cada uno con tiempo de aparición (release time), duración y plazo máximo de ejecución (deadline), y un conjunto de máquinas paralelas disponibles dentro de un horizonte de tiempo dividido en períodos, se busca una asignación de trabajos a máquinas que permita ejecutar todos los trabajos dentro de la ventana de tiempo comprendida entre su tiempo de aparición y su plazo de ejecución. Cada máquina puede estar encendida o apagada en cada uno de los períodos dentro del horizonte de tiempo, y una máquina puede procesar un trabajo solamente si está encendida. La función objetivo a minimizar mide el número total de períodos-máquina requeridos para el procesamiento de todos los trabajos. En el caso particular en que el horizonte de planificación contiene un solo período, la función objetivo se reduce a encontrar el menor número de máquinas idénticas para ejecutar todos los trabajos antes de su plazo máximo de ejecución. Este problema ha sido estudiado en la literatura como Scheduling with Release Times and Deadlines with a Minimum Number of Machines (SRDM). En analogía, denotaremos a nuestro problema como SRDM-T, ya que el mismo puede ser considerado como una extensión multi-período del problema SRDM. El problema SRDM es, en general, NP-difícil, por

lo que se han empleado varios métodos heurísticos y de aproximación para resolverlo. Estos algoritmos de aproximación pueden extenderse fácilmente al problema SRDM-T. En esta charla, se analizará el caso especial del SRDM-T donde las duraciones de los trabajos son constantes y se presentará una 2-aproximación basada en la programación lineal.

*Abstract ID 243 (Diseño2, Tuesday 17:00-17:20)*

### Problema de producción con máquinas de capacidad variable, moldes con recursos limitados y tiempos de configuración dependientes de la secuencia.

*Pedro Piñeyro\** (UdelaR) [ppineyro@fing.edu.uy](mailto:ppineyro@fing.edu.uy) Joaquín Velázquez Camacho (UdelaR); Héctor Cancela (Universidad de la República)

En este trabajo se aborda un problema de optimización de la producción en el que intervienen máquinas de capacidad variable, moldes que van colocados en dichas máquinas y artículos a producir para satisfacer una demanda conocida, en el menor tiempo posible. Se debe tener en cuenta la compatibilidad entre las máquinas y los artículos, la existencia limitada de recursos necesarios para los moldes, y los tiempos de configuración de las máquinas dependientes de la secuencia, así como de procesamiento de los artículos a producir simultáneamente. En primer lugar, se propone un modelo matemático de programación lineal entera mixta para el problema, generalizando un modelo existente en la literatura para el proceso de vulcanizado de neumáticos. En segundo lugar, teniendo en cuenta la complejidad de resolución del problema, se desarrolla un procedimiento de resolución heurístico basado en el enfoque algorítmico "Pulse Framework", complementado con otras técnicas heurísticas, el cual ayuda a reducir y dirigir la búsqueda de soluciones. Se realiza una experimentación numérica para evaluar el procedimiento sugerido, en el que se consideran cuatro tipos de instancias: pequeñas, medianas, grandes y realistas. Los resultados obtenidos muestran que con el procedimiento de resolución propuesto se pueden resolver más instancias que con un software de optimización comercial del estado del arte utilizado para resolver el modelo, y en un menor tiempo de cómputo. En particular, para instancias grandes y realistas el procedimiento sugerido es capaz de encontrar la solución óptima o una muy cercana, en un 85% de los casos. Cabe destacar que este estudio se origina en una colaboración con la cooperativa uruguaya Funsacoop, dedicada fundamentalmente a la producción de neumáticos.

## 6.18 Machine Learning1

*Room: Aula Magna, Tuesday 16:00-17:30*

Session chair: Emilio CARRIZOSA

*Abstract ID 235 (Aula Magna, Tuesday 16:00-16:20)*

### Expected Hypervolume Improvement for Multi-Objective Reinforcement Learning

*Alberto M Millán\** (UNAM) [maxmillan@ciencias.unam.mx](mailto:maxmillan@ciencias.unam.mx)  
Carlos I Hernández Castellanos (UNAM)

In the real world, most problems require consideration of multiple objectives, which often conflict with each other. Further, it is commonly the case that we have a series of decisions rather than just one. This setting leads to the so-called multi-objective reinforcement learning. In this kind of problems agents aim to learn a set of policies that simultaneously optimize multiple reward criteria provided by the environment. In recent years, the community has started to pay attention to this kind of problems. However, there is a need for more methods that can effectively solve such problems. In this context, we propose adapting the Pareto Q-learning algorithm equipped with tools from multi-objective evolutionary algorithms and Bayesian optimization. In particular, similar to some classical methods, our algorithm leverages the hypervolume of generated policies to guide the search, using

the expected hypervolume improvement (EHVI) criterion. EHVI calculates the expected increase in hypervolume indicator, considering an approximation set of the Pareto front and a multivariate Gaussian distribution at a new point. The purpose is to guide action selection towards those with a higher expected contribution. EHVI allows an effective method to compute a policy and balance exploration and exploitation. Until now, we have explored several implementations with EHVI calculation for bi-objective problems with the analytical computation of EHVI from the BOTorch Library. Our preliminary results show that the novel method is competitive compared to other hypervolume Q-learning methods based on the problems selected from MO-Gymnasium. Thus, in our opinion, using EHVI is a promising alternative to address multi-objective reinforcement learning problems. In future work, we plan to test our approach, increasing the number of decision variables and objectives and working on the theoretical framework for this problem.

*Abstract ID 200 (Aula Magna, Tuesday 16:20-16:40)*

### New mathematical optimization models for clusters interpretability

*Paula Segura\** (Universitat Politècnica de València)  
[psegmar@upvnet.upv.es](mailto:psegmar@upvnet.upv.es) Alfredo Marin (Universidad de Murcia)

In this work we present a new approach for improving the interpretability of Cluster Analysis by means of distance-based explanations. Our aim is to find an explanation for the clusters by choosing a set of prototypes such that individuals who are closest to a prototype are allocated to its same cluster. We consider that K dissimilarities, each one associated with a different measure, are given between each pair of individuals. A prototype represents those individuals for whom it is the closest prototype in at least q of the K measures. The goal is to select the minimum total number of prototypes that provides an explanation for all the clusters. We present two mathematical optimization models based on a different definition of closeness between individuals. Some computational experiments are carried out to test our approach.

*Abstract ID 209 (Aula Magna, Tuesday 16:40-17:00)*

### Scheduling in stochastic environments: Using Conformal Prediction for estimation of prediction intervals and its use in stochastic programming of image processing for ALMA

*Rodrigo A Munizaga\** (Universidad Adolfo Ibañez)  
[rmunizaga@alumnos.uai.cl](mailto:rmunizaga@alumnos.uai.cl) Luis Aburto (Universidad Adolfo Ibañez)

The ALMA Astronomical Observatory confronts the challenge of efficiently managing a large volume of image-processing tasks while adhering to predefined Service Level Agreements (MOUS) and mitigating delays that lead to server congestion. This study introduces a novel predictive tool to estimate processing times for each MOUS based on job characteristics. By leveraging data processing techniques and supervised regression models, a light gradient-boosting machine is developed, achieving a 16% prediction accuracy (MAPE) on a validation set. Quantile Forest models are also utilized to estimate confidence intervals, covering 45% of data points. The integration of these systems leads to an innovative online job scheduling scheme that outperforms traditional techniques, resulting in significant improvements in operational workflow times, with a 5.7% decrease in flow time compared to previous solutions. The project's impact is influenced by the coverage achieved through Quantile Forest in estimating confidence intervals, albeit yielding results that were not entirely satisfactory. Consequently, the focus shifts towards integrating prediction intervals into stochastic scheduling models to improve coverage accuracy while minimizing total flow time. The overarching objective is to develop a prescriptive model for scheduling the processing of ALMA images, leveraging machine learning methods for processing time estimation and Conformal Prediction for predicting intervals. The research delves into essential characteristics, obtained

from a comprehensive dataset of 410 MOUS, including processing metadata and task attributes such as job sizes, number of antennas used, spectral windows, channels utilized, and parameters measuring the effort in capturing observed images. This research hopes to contribute to Operations Research and Observatory Operations literature by combining predictive and prescriptive analytics techniques

*Abstract ID 50 (Aula Magna, Tuesday 17:00-17:20)*

### LIME (Local Interpretable Model-Agnostic Explanation) Made Global

*Emilio Carrizosa\** (Universidad de Sevilla)  
[ecarrizosa@us.es](mailto:ecarrizosa@us.es) Thomas HALSKOV (Copenhagen Business School); Dolores Romero Morales (Copenhagen Business School)

LIME is a procedure that approximates locally an arbitrary classifier, possibly given in black-box form, by a linear model. This way, the interpretability of linear models can be used to interpret the (nonlinear) classifier around the record under consideration. In its standard form, LIME is applied to one single record, or, if applied to a data set, it can be run independently for the different records. In this talk, taking a stake-holder perspective, we consider the problem of building a linear approximating model for all records in the data set when linking constraints between such linear models exist.

## 6.19 Logistics3

*Room: Aula Panamericana, Tuesday 16:00-17:30*

Session chair: Belén Melián Batista

*Abstract ID 307 (Aula Panamericana, Tuesday 16:00-16:20)*

### Optimización de propuesta de distribución de planta piloto mediante Programación Entera Mixta (PEM) y su comparación con técnica tradicional.

*Leonel Hernández García\** (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco) [193z0078@alum.huatusco.tecnm.mx](mailto:193z0078@alum.huatusco.tecnm.mx)  
 Leonel Hernández García (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco)\*; María del Carmen Martínez Quezada (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco); Ana Laura Piña Martínez (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco); Rafael Tejada Garcia (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco); María Isabel Marín-Hernández (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco)

Se han creado una gran variedad de procedimientos para ayudar al planificador de plantas a diseñar distribuciones. Estos procedimientos se clasifican en dos categorías principales: para construcción y para mejoramiento. Los métodos de la distribución para construcción implican desarrollar una distribución nueva "desde cero". Mediante la representación continua del problema de la distribución de una planta se puede formular como un problema de programación entera mixta PEM, o por sus siglas en inglés, MIP-Mixed Integer Programming) si se supone que todos los departamentos son rectangulares (Tompkins et al.,2011). La suposición clásica del viaje de flujo libre, es decir, el movimiento sin restricciones de cualquier punto a cualquier otro punto del trazado, ofrece un modelado básico plataforma a partir de la cual se construyen todas las extensiones posteriores en la integración del flujo (Montreuil,1991). En este trabajo se parte de dos métodos de distribución de planta diferentes, se desarrolla una tabla desde-hacia y se aplica la planificación sistemática de la distribución de Muther (SLP) comparando la solución con modelo matemático (PEM). Dicho modelo trata a las dimensiones y ubicación de los departamentos como variables de decisión, contando ambos con dife-

rencia entre las distribuciones sobre la cercanía del área con mayor y menor interacción en el proceso. En tales métodos se prioriza el número de interacciones entre departamentos, practicidad y logística en el área delimitada, considerando su aplicación en la distribución de una planta piloto para la producción de un dispositivo ahorrador de gas, que disminuye las distancias recorridas, minimizando el esfuerzo del operador.

*Abstract ID 96 (Aula Panamericana, Tuesday 16:20-16:40)*

### **Incorporación del diseño de bodegas en un problema de Localización con Inventarios, para el diseño estratégico de la cadena de suministro**

Patricio Hidalgo Álvarez\* (Universidad Católica del Norte) [patricio.hidalgo@ce.ucn.cl](mailto:patricio.hidalgo@ce.ucn.cl) Pablo A. Miranda-Gonzalez (Universidad Católica del Norte); Francisco J. Tapia-Ubeda (Universidad Católica del Norte)

En este trabajo se desarrolla una estructura de modelamiento novedosa, la cual integra aspectos del diseño de bodegas o centros de distribución, dentro de un Problema de Localización con Inventarios para el diseño estratégico de la cadena de suministro. En particular, el modelo propuesto optimiza decisiones de localización de centros de distribución y asignación de clientes, en conjunto con el diseño de los centros instalados. El diseño de los centros consiste en la determinación del número de posiciones de pallets y pasillos, así como el layout respectivo, requeridos para el almacenaje de los productos asociados a los clientes asignados a cada centro. Se considera un conjunto de clientes con demandas estocásticas, bajo un escenario de múltiples productos y periodos, los cuales deben ser abastecidos por parte los centros de distribución instalados. El modelo propuesto es de naturaleza no lineal entera mixta, para el cual se propone un esquema basado en la Descomposición Generalizada de Benders como método heurístico de resolución.

*Abstract ID 369 (Aula Panamericana, Tuesday 16:40-17:00)*

### **Enhancing Productivity and Safety in Order Picking for the Automotive Sector: A Metaheuristic Based on a Trajectory Prediction Strategy**

Jimmy A Carvajal\* (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey) [jimmy.carvajal@tec.mx](mailto:jimmy.carvajal@tec.mx) Jimmy A Carvajal (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey)\*; Lizeth Armida García Valle (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey); María Ines Bojorquez (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey); Diego Najera (ITESM); Liliana Castro (Tecnológico de Monterrey)

In this paper, we study the order picking problem in an electronics supply distribution center in Mexico, which faces the challenge of meeting the growing demand of the automotive sector with the highest productivity, considering its vital role in third-party logistics within an agile supply chain. The problem begins with the receipt of orders in waves, which are divided by product types. Then, the products are consolidated to create sub-orders (Batches), which are assigned to pickers, considering as a decision criteria to minimize the distance traveled and assigning routes that minimize the risk of collisions between vehicles within the layout. From a methodological perspective, a mathematical modeling approach inspired by the Constrained Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) is proposed and solved through a metaheuristic (Genetic Algorithm) based on a trajectory prediction strategy that avoids route overlapping within a time window to prevent the possibility of collisions. This strategy uses directed graph modeling of the layout, recalculating alternative routes, and penalizing the cost of arcs with potential collisions within the same time window. The computational experiments were conducted using real historical data from several days of operation, improving performance in terms of distances traveled, picker headcount, and significantly reducing route overlaps that posed a collision risk to the vehicles. Finally, higher productivity is achieved in the order

picking process, along with consideration of social components regarding the care, health, and well-being of the workers as they perform their duties.

*Abstract ID 136 (Aula Panamericana, Tuesday 17:00-17:20)*

### **Variable Neighborhood Search for Cross-Docking optimization**

Belén Melián Batista\* (Universidad de La Laguna) [mbmelian@ull.edu.es](mailto:mbmelian@ull.edu.es) Marcos Rodríguez-Vega (Universidad de La Laguna); J. Marcos Moreno-Vega (Universidad de La Laguna); Francisco Ángel-Bello (Universidad de La Laguna)

Cross-docking, a collaborative distribution strategy, involves consolidating and transferring goods between vehicles at an intermediate point before their final distribution. This work focuses on a critical problem within this strategy: the efficient door assignment and scheduling of trucks to minimize the total processing time (makespan). Instead of traditional two-phase approaches, we propose an integrated mixed-integer linear programming model to simultaneously address both stages in the considered version of the Cross-Dock Door Assignment and Scheduling Problem (CDASP). The problem consists of assigning each supplier and each customer exactly one inbound door and one outbound door, respectively, and determining the order in which they will be served so that the capacity constraints of dock doors are satisfied and the time elapsed from when the first supplier began to serve until the last customer was finished serving is minimized. Furthermore, we design practical variants of a Variable Neighborhood Search metaheuristic with strategic oscillation to handle more realistic instances. Our computational results are promising, showing that these heuristics produce solutions with an average gap of less than 0.1% compared to the available optimal solutions. To further validate our findings, we conduct comprehensive computational experiments with instances of realistic size.

## **6.20 Logistics2**

*Room: Diseño3, Tuesday 09:00-10:30*

Session chair: Gabriela G Gaviño

*Abstract ID 114 (Diseño3, Tuesday 09:00-09:20)*

### **Dinámicas de Transporte: Un Enfoque Wardrop**

Valeria Paola Moreno Báez\* (Tecnológico Nacional de México / ITS Irapuato) [lis21110026@irapuato.tecnm.mx](mailto:lis21110026@irapuato.tecnm.mx) Dulce María Retana Juárez (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato); Mónica Lizbeth Juárez Rivera (Tecnológico Nacional de México / ITS Irapuato); Estefanía Aponte Huerta (Tecnológico Nacional de México/ ITS Irapuato); Rosa Viridiana Castillo Chavez (Tecnológico Nacional de México/ ITS Irapuato)

En este estudio se aplicó el equilibrio de Wardrop para analizar la selección de transporte en un entorno urbano, considerando las variables clave de tiempo, costo y satisfacción. Utilizamos un modelo de juego de competencia entre usuarios del transporte que tenían la opción de elegir entre dos rutas diferentes. Cada ruta ofrece diferentes tiempos de viaje, costos y niveles de satisfacción. Los resultados mostraron que, en un equilibrio de Wardrop, ningún usuario tiene incentivos para cambiar de ruta, ya que ninguna ofrecía una mejora en el tiempo de viaje individual. Este enfoque proporciona una comprensión profunda de cómo los factores clave influyen en las decisiones de transporte urbano y puede informar políticas para mejorar la eficiencia y la satisfacción del usuario en sistemas de transporte.

*Abstract ID 174 (Diseño3, Tuesday 09:20-09:40)*

### **Modelo de ruteo vehicular para abastecimiento de**

## zonas de refugio en San Pedro Mixtepec

Zitlaxochitl Pestaña Aguilar\* (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato) LIS21110792@irapuato.tecnm.mx

Diego Martínez Rea (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato); Daniela Flores Murillo (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato); Aniela Gabrielle López Gutiérrez (Tecnológico Nacional de México ITS Irapuato); Manuel A González Aldana (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato)

La logística humanitaria surge de la necesidad de mitigar y reducir el impacto de desastre que suele tenerse como consecuencia de situaciones de emergencia en determinada zona geográfica para que exista un retorno rápido a la normalidad. En México existen zonas que suelen verse más afectadas que otras por desastres naturales generalmente siendo zonas cercanas a las costas por su ubicación geográfica dentro del territorio. La región de la costa en el estado de Oaxaca, enfrenta grandes desafíos en la distribución de víveres dentro de su territorio siendo una de las más afectadas dentro de las ocho regiones del estado, dónde se ubica el municipio de San Pedro Mixtepec. Se buscó identificar la ruta óptima para el suministro de víveres en las zonas de refugio de las partes más propensas a estos fenómenos en la región de costa en Oaxaca, por medio del Modelo de ruteo vehicular Model que busca la optimización de la mejor ruta para la distribución de viveres en almacenes, instalaciones de servicios, escuelas o cualquier área designada y autorizada por el gobierno o autoridades correspondientes, bajo regulaciones y características específicas como la estructura y capacidad de los mismos. Es importante resaltar que el abastecimiento en un menor tiempo y con una mayor eficiencia es un rubro fundamental para asegurar que exista una logística previa y adecuada en estas zonas de refugio para que puedan albergar y salvaguardar a las personas ante algún desastre natural o evento de fuerza mayor, esto manteniendo alimentos, medicamentos y productos de primera necesidad correctamente suministrados para cubrir cualquier evento causante del cupo de estas zonas de refugio. Gobierno de México. (2024). Refugios temporales. Preparados. Gobierno de México. Recuperado de <http://www.preparados.gob.mx/apps/RefugiosTemporales/consulta.php?state%5B%5D=OAXACA&page=5>

Abstract ID 246 (Diseño3, Tuesday 09:40-10:00)

## Evaluación de ruteos internacionales en giras artísticas

Abigail E Ramírez Oropeza\* (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato) LIS21110549@irapuato.tecnm.mx

Daniela Aldaco Sandoval (Tecnológico Nacional de México / ITS Irapuato ); Diego F Leal (Tecnológico Nacional de México/ITS Irapuato ); Andrea García Zamarripa (Tecnológico Nacional de México-ITS Irapuato )

En este trabajo se presenta una aplicación del modelo de ruteo vehicular para la evaluación de las giras internacionales de tres artistas, con el objetivo de analizar las variables que influyen en la planificación de los puntos de concierto, tales como las fechas, ubicaciones y la cantidad de presentaciones. El modelo fue programado en GNU Octave. Los resultados obtenidos indican que la ruta óptima sugerida por el programa difiere de la originalmente establecida por el equipo de los artistas. La ruta óptima propuesta es más eficiente en términos de tiempos y costos, ya que reduce los trayectos y traza una ruta continua para la presencia de los artistas en un mismo país. Esto permite concluir que las decisiones del equipo de los artistas en la planificación de sus giras están fundamentadas en consideraciones logísticas, y es evidente que algunos conciertos fueron agendados en el último momento. El modelo de ruteo vehicular demuestra ser una herramienta valiosa para optimizar la logística de las giras, maximizando la eficiencia operativa y minimizando los costos asociados. Este estudio contribuye a la literatura en investigación de operaciones aplicadas a la industria del entretenimiento, proporcionando un marco cuantitativo para mejorar la planificación de giras artísticas.

Abstract ID 164 (Diseño3, Tuesday 10:00-10:20)

## Análisis de comercialización D2C y ruteo para la asociación TONAEM de pequeños productores de Villa del Carbón

Gabriela G Gaviño\* (UAEMex) ggavinoo@uaemex.mx

Brandon Alonso Pérez (UAEM); Heriberto Casarrubias Vargas (UAEM)

La asociación legal A.L.P.R. TONAEM agrupa a 27 pequeños productores que implementan practicas 100% sustentables en todo todos sus procesos; comercializan sus productos en forma de canastas de hortalizas, venden en paquete verduras y hortalizas que una familia consume en el transcurso de una semana. Los canales de venta actuales se limitan a venta en el tianguis orgánico, restaurantes de la localidad y venta directa en la unidad de producción. Debido al excedente de productos y capacidad de producción que actualmente tienen, surge la necesidad de encontrar nuevos canales de distribución. Para expandir su mercado consideran un esquema D2C, Direct to Consumer, mediante venta directa con recolecta en un punto o entrega a domicilio; en este esquema los productores tienen un mayor control sobre el precio final de sus productos, debido a que no existen intermediarios. Se contempla la venta de canastas de hortalizas en un solo punto de recolecta, fuera de la localidad de producción y también la entrega a domicilio en las localidades aledañas al mismo punto de recolecta. Se tiene una experiencia de comercialización de canastas de hortalizas en una Universidad cercana a la asociación, se realizaba una compra consolidada, y la entrega de los productos se realizaba en las instalaciones de la Universidad. Para determinar si la entrega a domicilio es económicamente factible se plantea un modelo matemático para optimizar tiempos, distancia y costos de las rutas de entrega considerando horarios de entrega preestablecidos por los clientes y capacidades de distribución, un problema de enrutamiento de vehículos con períodos (VRPTW). Para analizar la factibilidad del esquema D2C propuesto se aplica simulación Montecarlo para determinar el área de entrega factible respetando las restricciones establecidas. El análisis realizado permite encontrar el punto de equilibrio entre el total de canastas, el costo y beneficio total para la asociación de pequeños productores de Villa del Carbón

## 6.21 Education1

Room: Central14, Tuesday 14:00-15:30

Session chair: Pedro Piñeyro

Abstract ID 204 (Central14, Tuesday 14:00-14:20)

### Resource Management in the Brazilian Air Force: A Case Study with the C-295 (Amazonas) Aircraft

Isaac M Matias\* (ITA) isamatiasilms@gmail.com Níssia C R Carvalho Rosa Bergiante (Fluminense Federal University (UFF))

The Brazilian Government, within the scope of its defense industry, allocates resources across various segments. In 2023, approximately 25% of these resources are directed to the Air Force Command. This significant investment demands more effective management of the available resources. In this context, the present article aims to verify the adequacy of the results from an exploratory data analysis concerning the duration of 1,168 parachute deployment training flights conducted by pilots of the Brazilian Air Force using C-295 (Amazonas) aircraft in different cities of Brazil in 2022. Methodologically, this study is based on 777 flight records from 2023 using the same aircraft for the same type of training. The results confirmed, with an error margin of less than 5%, the possibility of reducing the time needed to execute these trainings by approximately 80% as initially suggested by the analysis, indicating potential adjustments in resource planning. Such measures would ensure the optimization of existing resources, enabling continuous innovations and improvements in areas previously limited by budget constraints.

Abstract ID 309 (Central14, Tuesday 14:20-14:40)

### Un enfoque de optimización para la conformación de secciones de cursos en una escuela de pregrado

Jaime Miranda\* (UNIVERSIDAD DE CHILE)  
 jmirandap@fen.uchile.cl ANIBAL QUIROZ  
 (UNIVERSIDAD DE CHILE)

El problema de asignación de personas, es una decisión recurrente que presenta múltiples niveles de complejidad, y su aplicabilidad se da en diversos rubros, tales como escuelas, asignando estudiantes a grupos de trabajo; en hospitales, asignando personal variado a la supervisión y control de ciertas áreas de pacientes; en manufactureras, asignando personal a maquinaria específica; entre otros. Estos problemas de asignación basan su complejidad en la cantidad de reglas de asignación, población total, objetivo y profundidad que rigen el algoritmo de asignación, no es lo mismo asignar una persona a un grupo de trabajo, que asignar una persona a una serie de cursos, en donde se debe ver más allá de la asignación individual. El presente trabajo tendrá su foco resolver analíticamente el problema de asignación de estudiantes a secciones de cursos en el área universitaria considerando tres objetivos mediante un modelo de optimización lineal. El primer objetivo busca generar secciones lo más similares entre sí, considerando la población de estudiantes puede ser descrita por diferentes atributos. El segundo objetivo busca la definición de los horarios, incorporando que éstos sean los más compactos posibles, es decir, se busca disminuir las ventanas ociosas en la programación horaria de los estudiantes. Finalmente, el tercer objetivo busca maximizar la preferencia estudiantil por el curso que está inscribiendo. EL resultado de este trabajo fue aplicado a la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile, en donde se mejoraron considerablemente los indicadores asociados a los tres objetivos mencionados, respecto de la solución manual. Este resultado permite tener secciones más homogéneas, teniendo mejores horarios individualmente y considerando las preferencias de los estudiantes.

Abstract ID 351 (Central14, Tuesday 14:40-15:00)

### Factibilidad de la programación académica de un departamento escolar universitario mediante un modelo de programación lineal entera

Edgar Fuentes Figueroa\* (UDG)  
 edgar.fuentes@academicos.udg.mx Edgar Fuentes Figueroa  
 (UDG)\*; Alejandra Gomez Padilla (UDG)

Utilizamos un modelo de satisfacción de restricciones lineales para la programación académica de un departamento escolar. El modelo se construye a partir de las aulas disponibles, los profesores del departamento y las materias ofertadas. Además, incluimos estudiantes prototípicos que determinan las necesidades de oferta de cursos según su grado y sus disponibilidades de horario. Los parámetros del problema se determinan por la disponibilidad de aulas, sus capacidades y tipo de instalación presentes; también se consideran las áreas de formación de los profesores así como sus horarios de trabajo. Abstraemos cada entidad del modelo como una matriz binaria de 15 renglones y 6 columnas; donde los renglones representan las horas de inicio de las clases durante un día y cada columna representa un día de la semana laboral. Naturalmente, estas matrices binarias indican las disponibilidades de los profesores, estudiantes y aulas. De este modo, logramos generar un modelo de programación lineal binaria sin función objetivo, que permite determinar la factibilidad de cubrir las necesidades académicas del departamento escolar con los recursos disponibles y atiende las necesidades de los estudiantes. En particular, las variables binarias del modelo que toman valores igual a 1 determinan si se asigna un profesor a una materia, a una hora, en un aula dada. Resolvemos nuestro modelo utilizando el método de ramificación y acotamiento implementado en Mosek; el modelo simbólico es generado en Julia mediante JuMP. Mostraremos los resultados obtenidos resaltando la capacidad del modelo de crear turnos para que los estudiantes tengan horarios compactos.

Abstract ID 109 (Central14, Tuesday 15:00-15:20)

### Estudio de extensiones al problema de asignación de estudiantes a cursos con cupos y superposiciones, maximizando las preferencias de los estudiantes

Pedro Piñeyro\* (Universidad de la República)  
 ppineyro@fing.edu.uy Libertad Tansini (Inco, Facultad de Ingeniería, Udelar); Carlos E. Testuri (Universidad de la República)

La Universidad de la República es la institución de enseñanza universitaria más grande del Uruguay, contando en 2022 con unos 156 mil estudiantes activos, es decir, que registran alguna actividad de rendición de curso o examen en los últimos dos años. Está compuesta por veinte facultades y servicios, las cuales están organizadas en las áreas de tecnología y ciencias de la naturaleza y el hábitat, social y artística, y salud. Si bien la mayoría de las carreras tienen su sede central en la capital del país, Montevideo, el 10,6% de la matrícula, unos 18 mil estudiantes, se concentra en sedes del interior del país. En varias carreras, las inscripciones a los horarios semanales (turnos) de determinados cursos, están sujetas a restricciones de cupo máximo. En un trabajo anterior, se desarrolló un modelo matemático de programación entera para asignar estudiantes a turnos, teniendo en cuenta restricciones de cupo y superposición de horarios (un mismo estudiante no puede ser asignado a dos turnos que se superpongan en el tiempo), maximizando las preferencias indicadas por los estudiantes a los diferentes turnos. Este modelo fue aplicado con éxito a partir de 2023 en la Facultad de Derecho, donde además se debía dar prioridad a los horarios de modalidad virtual para estudiantes radicados en el interior y a estudiantes con actividad laboral. Actualmente se está trabajando en la adaptación del modelo para la Facultad de Psicología, donde se debe tener en cuenta, además de la preferencia a los horarios, la preferencia indicada para los cursos, así como dar prioridad al avance de los estudiantes en la carrera (definida por la cantidad de créditos del estudiante) así como a los estudiantes becados. En este trabajo se presenta el modelo base desarrollado, la adaptación y los resultados obtenidos para la asignación de estudiantes a turnos en la Facultad de Derecho, y los avances para su implementación en la Facultad de Psicología, teniendo en cuenta su particularidades.

## 6.22 Healthcare3

Room: Auditorio Santander Norte, Tuesday 16:00-17:30  
 Session chair: Aarón Guerrero Campanur

Abstract ID 138 (Auditorio Santander Norte, Tuesday 16:00-16:20)

### Optimizing ambulance routes to address discrepancies in blood potassium levels within a healthcare region

Laura Davila-Pena\* (University of Kent)  
 l.davila-pena@kent.ac.uk Balbina Casas-Méndez  
 (Universidade de Santiago de Compostela)

Medical professionals in a northwestern region of Spain have identified disparities in blood potassium levels among patients, along with unusual geographical variations in their origins. One potential reason for these differences is the inefficacy of existing ambulance routes used to transport blood samples from various health centers to the central laboratory for analysis. In this work, we present an integer linear programming model that addresses this problem, tailored to its specific contextual factors. Initially, we cluster health centers and design an ad-hoc algorithm that schedules sample arrivals to avoid congestion at the laboratory entrance. We solve real-world instances using Gurobi and propose alternative routes that enhance the current system's efficiency. Furthermore, we discuss additional aspects regarding route fairness and patient satisfaction.

Abstract ID 327 (Auditorio Santander Norte, Tuesday 16:20-16:40)

### Stochastic models for locating and dispatching two types of ambulances.

Beatriz Alejandra García Ramos\* (Universidad Autónoma de Nuevo León) [beatriz.garciarms@uanl.edu.mx](mailto:beatriz.garciarms@uanl.edu.mx) Yasmin Agueda Ríos Solís (Tecnológico de Monterrey); Roger Ríos Mercado (Universidad Autónoma de Nuevo León)

Emergency Medical Services (EMS) systems provide basic but urgent in-situ medical care for people who suffer a medical incident and then transport the patients to hospitals. In this talk, we focus on the emergency vehicle planning (EVP) problem that locates the ambulances in different city points and dispatches them to the emergency scenes considering the uncertainty of the emergency calls, ambulance demand, emergency locations, and patients urgent medical care. The EVP problem's main objective is to minimize the average response time of a patient's initial treatment given by a paramedic in an emergency. Thus, we propose a two-stage stochastic program for the EVP problem with two types of ambulances. The stochastic program locates both types of ambulances in the first stage, and in the second stage, the dispatching of the ambulances to accidents is determined. Our model allows multiple ambulances of different types for a single accident. A novel feature of our EVP problem is that it allows partial coverage of the accidents. Thus, our EVP problem must also decide if an accident will be totally or partially covered. Sadly, some accidents may stay uncovered by an emergency unit. We present two stochastic programming models. In the first model, each demand point is considered a complete event. The decisions allow us to cover several points, totally or partially, but in very expensive computational time. In the second model, this time is reduced because, instead of making decisions for each demand point, decisions are made by vehicle type. These decisions are based on whether ambulances were dispatched on time or late. However, many demand points are not covered by these decisions. Finally, we use the solution from our second model as intelligent feedback to fix the location variables of the first. This methodology improves the quality of the solution and reduces computational time.

Abstract ID 112 (Auditorio Santander Norte, Tuesday 17:00-17:20)

### Estrategia dinámica de transporte compartido para mejorar la atención médica en poblaciones vulnerables

Rodolfo Eleazar Pérez Loaiza\* (TecNM / IT Apizaco) [rodolfo.pl@apizaco.tecnm.mx](mailto:rodolfo.pl@apizaco.tecnm.mx) Aaron Guerrero Campanur (TecNM / Instituto Tecnológico Superior de Uruapan); Edmundo Bonilla Huerta (TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO campus APIZACO); Elias Olivares-Benitez (Universidad Panamericana)

El acceso a un servicio de salud de calidad y oportuno es esencial para la población, por eso los servicios de salud que ofrecen los hospitales o clínicas requieren que sean efectivos y centrados en los pacientes. Uno de estos servicios que se ofrecen son las consultas médicas programadas desde generales hasta de especialidades, hablando específicamente para adultos mayores y personas con alguna discapacidad o vulnerabilidad. El propósito de este trabajo es abordar el desafío del transporte dinámico de pacientes con necesidades médicas específicas, que consiste en recoger y regresar a los pacientes que requieren consulta médica de su residencia hacia el centro de salud y viceversa, una práctica que se conoce como *Deal-a-Ride Problem* y que se comenzó a trabajar por Stein (1978) y Psaraftis (1980). Se utilizan algoritmos de optimización de rutas dinámicas para calcular las rutas más eficientes para cada vehículo en función de las ubicaciones de los pacientes, los horarios de las citas médicas, las restricciones de tráfico, las necesidades específicas de cada paciente y los tiempos de traslado considerando lo que mencionan Cordeau y Laporte (2003).

Se enfatiza la importancia de priorizar pacientes según la urgencia de sus citas médicas. El objetivo se centra en la generación de soluciones factibles que ayuden a la entrega puntual y eficiente de los pacientes a sus citas y la calidad en el servicio. Este enfoque no solo podría mejorar el acceso a la atención médica, sino también aumentar la eficiencia en la utilización de recursos, lo que podría traducirse en beneficios significativos.

## 6.23 Red-M3

Room: Aula Panamericana, Wednesday 09:00-10:30

Session chair: Ana Paula Henriques de Gusmão

Abstract ID 135 (Aula Panamericana, Wednesday 09:00-09:20)

### Enhanced early-stage decision making method based on ML: An application to antioxidant extraction scale-up

Sergio Armando Medina-González\* (Tecnológico de Monterrey) [sergio.medina@tec.mx](mailto:sergio.medina@tec.mx)

The study analyzes early-stage decision-making tools fed by low-cost lab-scale extraction experiments. Solvent selection through in-situ extractions, in-silico techno-economic analysis, and a machine-learning-based multicriteria decision algorithm was proposed to select the most suitable solvent for scaling up purposes. An analytic hierarchy process (AHP) based method was used to select single solvents to replace solvent mixtures. As a result, ethylene glycol, methanol, ethanol, isopropyl alcohol, and water were assessed under a laboratory environment by response surface methodology (RSM) and industrially by running a life cycle assessment (LCA) analysis using SimaPro®. The RSM model evaluated temperature and time being total phenolic content and antioxidant capacity as the response variables. Energy consumption, Freshwater eutrophication, Global warming, Land use, Marine eutrophication, and Water consumption were the metrics quantifying the expected industrial impact. SCANCODE-based algorithms are used to identify the solvent hierarchy considering scale-up and thermodynamic parameters. As a result, from a holistic perspective, the solvents' hierarchy is methanol (MeOH) > ethanol (EtOH) > water = ethylene glycol (EG) = isopropyl (IPA).

Abstract ID 362 (Aula Panamericana, Wednesday 09:20-09:40)

### Análisis de la brecha de género y centralización del Sistema Nacional de Investigadores en México por medio de redes de coautoría

Mika Olsen\* (Universidad Autónoma Metropolitana) [Olsen@cua.uam.mx](mailto:Olsen@cua.uam.mx) Daniela Aguirre Guerrero (Universidad Autónoma Metropolitana); Ismael Robles (UAM)

Los problemas de desigualdad económica y social en México se reflejan en la comunidad científica, donde trayectorias académicas varían según estado geográfico y género. En 2021, 26% de los miembros del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) estaban en instituciones de Ciudad de México, pero solo 3% estaban en Chiapas, Guerrero y Oaxaca, y 38% de los miembros del SNII eran mujeres, pero solo 24% alcanzaba el nivel más alto (CONAHCyT, 2024). La compensación mensual del SNII representa hasta 50% del salario (Sandoval-Romero et al., 2020), fomentando la centralización y brecha de género. Proponemos una nueva metodología para analizar cómo la centralización y brecha de género afectan la colaboración y desempeño académico en el SNII, utilizando algoritmos genéticos (Kramer, 2017), regresión logística multinomial (Hosmer, 2013) y análisis de redes de coautorías (Savic et al., 2019). La hipótesis es que género y adscripción geográfica determinan los patrones de colaboración, fundamentada en la Teoría Cultural de Mary Douglas, que clasifica sociedades según dimensiones culturales y sociales (Douglas, 1996). Esta teo-

ría ha predicho con éxito el origen cultural de migrantes basado en redes de convivencia (Molina,2022). Las dimensiones culturales se determinan por género, adscripción y área de investigación; las dimensiones sociales por desempeño académico y redes de coautoría (Aguirre-Guerrero et.al.,2023). Generamos redes de coautorías del SNII con datos públicos federales (CONAHCyT,2024), la red ego de cada miembro (Gupta et.al.,2015) y sus métricas de centralidad (Wan et.al.,2021). Las métricas se usaron para predecir género y adscripción geográfica mediante regresión logística multinomial. Usamos un algoritmo genético para seleccionar predictores óptimos, evaluando log-verosimilitud, coeficiente pseudo R-cuadrado y comparación de log-verosimilitud nula (Hosmer,2013). Los resultados muestran que las redes de coautoría pueden identificar la dimensión cultural.

*Abstract ID 279 (Aula Panamericana, Wednesday 09:40-10:00)*

### **ProMorar Social Vulnerability Indicator: multi-criteria model for measuring social vulnerability in a Brazilian public policy context**

*Maria Julia Menezes Firmino Lima\** (Federal University of Pernambuco) [julia.menezeslima@ufpe.br](mailto:julia.menezeslima@ufpe.br) Vitor Tavares Bahia (Prefeitura do Recife); Luciana H Alencar (Universidade Federal de Pernambuco); MARIA EDUARDA CAMPOS (Prefeitura do Recife); George da Mota Passos Neto (Universidade Federal de Pernambuco)

How do we measure different levels of social vulnerability in a public policy aimed at people living in poverty and extreme poverty? How can we standardize the technical assessment of this issue to ensure fair and efficient decision-making? The concept of social vulnerability is interdisciplinary and multifaceted, as its definition depends on the fields of knowledge, the elements to be measured, and the socio-historical context of reality examined. Despite this theoretical and methodological complexity, the concept has been operationalized to formulate and implement public policies, often without establishing standardized criteria for its technical application. In response to this challenge, the ProMorar Recife team developed the ProMorar Social Vulnerability Indicator (IVS) to assess social vulnerability, thereby facilitating informed decision-making in public policy. The process of assessing social vulnerability takes into account six standardized criteria established to gauge the IVS. Considering the diverse perspectives and preferences of stakeholders, we assigned weights to these criteria and devised an aggregation function for the indicator, based on multi-criteria decision-making/support (MCDM/A) methodologies, employing a group decision approach to precisely elicit the criteria weights. The application in a Brazilian public institution is presented. Our approach aims to standardize the technical-social assessment of social vulnerability, ensuring equitable decision-making processes. By objectively classifying families based on their vulnerability into groups defined by the IVS value, we strive to achieve consistency and fairness in decision flows. This standardized approach fosters transparency and impartiality, providing a robust framework for evaluating and addressing social vulnerabilities within public policy contexts.

*Abstract ID 162 (Aula Panamericana, Wednesday 10:00-10:20)*

### **Multicriteria model to support decisions related to Data Governance**

*Ana Paula Henriques De Gusmão\** (Universidade Federal de Sergipe) [anapaulahg@academico.ufs.br](mailto:anapaulahg@academico.ufs.br) Edeneide Laura Melo Santos (Centro Acadêmico do Agreste - ); Manoel Ferreira dos Santos Neto (Universidade Federal de Sergipe)

Data Governance has assumed increasing importance in companies and government institutions. One of the reasons for this is the growth of regulatory requirements. Various regulations to ensure that companies adequately protect the data in their possession regarding customers and employees have been created in recent years. One of the best-known initiatives was the European Union's regulatory proposal: the GDPR (General Data Protection Regulation), that served

as a reference for the Brazilian law LGPD (General Data Protection Law). The LGPD poses many challenges to the governance of organizations. To comply with it, organizations need to review and adapt their procedures and processes, which will likely impact their business. Also, it is necessary to evaluate the actions that need to be implemented to comply with data regulations and prioritize their implementation, given limited resources, impact on the business and their nature. Thus, considering the characteristics of the problem of adapting to the LGPD, the use of the multi-criteria approach will be proposed to support the definition of actions to be implemented at first, within the context of Data Governance. More precisely, the FITradeoff multicriteria method will be used.

## **6.24 Premio Tesis SMIO LicyMaest**

*Room: Aula Panamericana, Wednesday 14:00-15:40*

Session chair: Adrián Ramírez Nafarrete

*Abstract ID 84 (Aula Panamericana, Wednesday 14:00-14:30)*

### **Optimización de logística en desastres hidrometeorológicos: modelo matemático para la gestión humanitaria**

*Mariana Herrera-Gallegos\** (Universidad de Monterrey) [mariana.herrerag@udem.edu](mailto:mariana.herrerag@udem.edu) Alexia Fernanda Villanueva Rodriguez (Universidad de Monterrey); Ana Lorena Ruiz Zorrilla Sanchez (Universidad de Monterrey); Pamela J. Palomo-Martínez (Universidad de Monterrey); Martha-Selene Casas-Ramírez (Centro de Investigación en Matemáticas, A.C., Nuevo León)

La logística humanitaria se enfoca en proporcionar ayuda y recursos de manera eficiente y efectiva durante situaciones de crisis y desastres. Este estudio detalla los cinco pasos de la metodología de investigación de operaciones en el contexto específico del problema de location-allocation de refugios durante desastres hidrometeorológicos. Se realizó una revisión de literatura utilizando el método de PRISMA para conocer el estado del arte. Las funciones objetivo son minimizar la distancia entre las víctimas y los refugios, reducir el número de refugios abiertos y mitigar el riesgo de inundación. El problema abordado tiene restricciones de los problemas Location Set Covering Problem (LSCP) y P-mediana. Se utiliza un enfoque multi-objetivo para abordar distancia, costos y riesgo, así como mapas de riesgo de inundación y la permisibilidad de división de la población para mejorar la cobertura de la demanda. Es importante mencionar que el modelo propuesto se resolvió con el método de Epsilon Constraint. Se presenta un estudio de caso del huracán Otis en México suscitado en octubre de 2023, donde se utilizaron mapas de riesgo de inundación del estado de Guerrero para evaluar la eficiencia del modelo propuesto, además que se encontró que los refugios abiertos fueron subutilizados, por lo que el modelo busca minimizar la cantidad de refugios necesarios al atender a la misma población, de modo que esos recursos puedan ser destinados a otro fin. Como resultados, se obtuvieron soluciones de buena calidad en un tiempo de cómputo razonable, las cuales podrían ayudar al gobierno a tomar mejores decisiones estratégicas ante una crisis humanitaria.

*Abstract ID 391 (Aula Panamericana, Wednesday 14:30-15:00)*

### **Optimización de localizaciones: aplicación de algoritmos evolutivos y técnicas avanzadas de ciencia de datos**

*Luis Alfredo González Zamora\** (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo) [lagz.consultant@gmail.com](mailto:lagz.consultant@gmail.com)

La tesis se centra en la optimización de la ubicación de un rastro Tipo Inspección Federal (TIF) en Hidalgo, México, utilizando algoritmos y análisis de datos. El objetivo principal es determinar el sitio óptimo para maximizar la producción y exportación de ganado bovino. Se analizan datos históricos de 2006 a 2021 de los 84 municipios del estado, considerando variables como producción en canal y en pie, precio promedio, valor de producción, peso promedio y cabezas de ganado. El estudio emplea técnicas de series de tiempo para prever la producción futura hasta 2030, identificando municipios con capacidad exportadora. Además, se modelan relaciones entre variables críticas y se aplican algoritmos de optimización multiobjetivo para minimizar costos de transporte y asignación de demanda, considerando restricciones logísticas. Los resultados indican que Molango de Escamilla es el municipio óptimo para el rastro, debido a su ubicación estratégica y costos de transporte. También se sugieren municipios adicionales para centros de acopio y distribución. La metodología propuesta combina técnicas de inteligencia artificial y optimización para guiar decisiones sobre infraestructura ganadera, maximizando el potencial exportador y minimizando costos logísticos, contribuyendo al desarrollo económico regional.

*Abstract ID 392 (Aula Panamericana, Wednesday 15:00-15:30)*

### Un enfoque de solución a la integración del problema de plantas capacitadas con la planeación agregada de la producción bajo incertidumbre usando programación estocástica

*José Emmanuel Gómez Rocha\** (Tecnológico de Monterrey)  
emmanuel.gr@tec.mx

En este trabajo se desarrolla una integración del modelo de ubicación de plantas capacitadas con la planeación agregada de la producción bajo incertidumbre, estos dos problemas son muy conocidos y estudiados tanto por su aportación en la teoría de la programación matemática entera como por sus aplicaciones que han conllevado ahorros en enorme cantidad en términos monetarios, así como un uso más eficiente de recursos. La complejidad de la integración de ambos problemas considerando la incertidumbre es el tamaño de los problemas generados por el determinista equivalente, que aun con técnicas de descomposición como la de Benders, requiere de horas o días de cómputo para tener una solución de buena calidad en términos del gap de optimalidad. Si bien, estos problemas pueden verse como problemas de planificación a mediano y largo plazo, se ha encontrado en la literatura que dichos modelos suelen usarse para la selección de proveedores bajo incertidumbre y determinar los recursos necesarios para laborar, por lo cual el resolver estos problemas rápidos y con una solución de buena calidad se hace deseable. Derivado de estas necesidades de integración y velocidad, en esta tesis se presenta un enfoque que permite resolver ambos problemas secuencialmente, además se propone una heurística basada en métodos exactos que demostró velocidad y buena calidad de solución en comparación de la descomposición de Benders y solvers del estado-del-arte como CPLEX, Gurobi, SCIP, HiGHS, entre otros, así como formulaciones de desigualdades válidas para el problema de planificación de producción y recursos. Se demuestra la ventaja de la integración de ambos modelos, así como de las mejoras en tiempo computacional requerido para tener soluciones. En estudio de caso con socio formador en Tecnológico de Monterrey se ve un beneficio en ahorros de hasta 396 millones de pesos cuando se tiene una utilidad bruta de 2,640 millones de pesos.

## 6.25 Logistics4

*Room: D36, Wednesday 16:00-17:30*

Session chair: Claudia O López

*Abstract ID 131 (D36, Wednesday 16:00-16:20)*

### Optimización de planes de viaje turísticos

*Sofía Alvarez Sandoval\** (ITESM) a01656059@tec.mx

Samantha Ruelas (Tecnológico de Monterrey); Sofía Alvarez Sandoval (ITESM)\*; José Dávila (Tecnológico de Monterrey); Gerardo Ramírez (Tecnológico de Monterrey); Fernando Elizalde (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey)

Se estima que para 2024 el turismo en México contribuirá con ingresos de más de 30 mil millones de dólares, por lo que contribuir a su desarrollo es de suma importancia. Una experiencia clave para los turistas es la adecuada planeación de recorridos, a fin de que se visiten todos los lugares de interés dentro de una ventana de tiempo diaria determinada por él. Nuestra propuesta consiste en un modelo de programación entera mixta que aborda el problema de planeación turística con base en las preferencias del usuario, teniendo entonces un planteamiento similar a un CVRP con ventanas de tiempo (debido a los horarios de operación de los lugares turísticos), maximizando la satisfacción del usuario en función del nivel de concurrencia del lugar por hora. Debido a la complejidad del problema y su escalabilidad, se proponen dos formas de solución. La primera, mediante el uso de filas de espera, donde se ordenan las visitas según una ponderación entre la satisfacción y la distancia, mejorando progresivamente la satisfacción del plan presentado. Como segundo enfoque, se usó un algoritmo genético que solo busca maximizar la satisfacción sin considerar las distancias a recorrer en su ordenamiento (y sin permitir soluciones infactibles), pero en todo momento se permite la inclusión aleatoria de tiempos de descanso. A pesar de ser un problema complejo se lograron obtener soluciones aceptables en un tiempo de cómputo razonable. Nuestro trabajo destaca por abordar de manera integral un problema de alta relevancia para México como lo es la mejora en la experiencia ofrecida a turistas. Partiendo de un caso sencillo, esto puede llevarse a recorridos más complejos y extensos, asegurando que cualquier plan generado cumpla con las restricciones en tiempos, costos y días según las preferencias y necesidades del turista, ya sea como restricciones o función a optimizar.

*Abstract ID 245 (D36, Wednesday 16:20-16:40)*

### Optimización de planes de viaje turísticos

*Natalia S Guevara\** (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey) a00835884@tec.mx Gael A Ordaz Zamora (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey); Jose D Banda (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey); Fernando Elizalde (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey)

El proyecto de investigación consiste en la resolución de un problema de generación de rutas turísticas mediante un modelo computacional que realiza la búsqueda de las rutas óptimas, con el objetivo de maximizar la cantidad de lugares visitados y cumplir restricciones como presupuesto y tiempo máximo. Se toman en cuenta los lugares turísticos como nodos, los tiempos en minutos de trasladarse de un nodo a otro se consideran como costos, y el tiempo a pasar en un nodo es establecido como el costo de visita. El programa consta de una función que optimiza la ruta deseada, y a esta se le brindan distintos parámetros para su funcionamiento. Entre ellos destacan la cantidad de días a estar de visita y la cantidad de tiempo que se dedicaría por día para trasladarse y visitar la atracción turística, los cuales tienen la posibilidad de ser modificados. Para ello se utilizan librerías de Python que permite resolver el problema a optimalidad y en tiempos computacionales bajos.

*Abstract ID 287 (D36, Wednesday 16:40-17:00)*

### Solution approaches for The Orienteering Problem with Mandatory Visits and Incompatibility Constraints

*Marlene Pérez Franco\** (Universidad Autónoma de Nuevo León) marlenepf10@gmail.com Vincent Boyer (Universidad autónoma de Nuevo León); M. Angélica Salazar-Aguilar (Universidad Autónoma de Nuevo León)

The Orienteering Problem with Mandatory Visits and Constraints (OPMVC) consists in selecting the optimal route that covers all mandatory locations and potentially some optional ones, ensuring the total distance or time does not exceed a specified limit. This research aims to improve the efficiency of solving the OPMVC through a Branch and Cut approach. We focused on identifying and applying dynamic cuts to explore the solution space more effectively and reduce computational time. The proposed approach is able to solve all instances up to 262 nodes of the OPMVC from the literature within 4.5 minutes. Hence, we are currently extending the available benchmark to include larger instances to promote future research in the field.

*Abstract ID 383 (D36, Wednesday 17:00-17:20)*

### Beam Search to Minimise Cutting Patterns with Maximum Utilisation

*Claudia O López\** (Facultad de Ciencias, UNAM)  
[claudia.lopez@ciencias.unam.mx](mailto:claudia.lopez@ciencias.unam.mx) Marta Cabo (Null)

In many cutting and packing problems the sole objective is to maximise the utilisation of the cutting board, while satisfying the demand of pieces to be cut. When one focuses on optimising the use of raw material, it is very likely that for each board we will have to enter different cutting coordinates. In operations that involve a large number of pieces many boards will be required, so the cutting process can be highly affected when changing boards, specially if we consider a heterogeneous mix of pieces. However, when the set of pieces to be cut present large repetitions of the same pieces, it would seem reasonable to pay attention to the number of changes in the machine settings, reducing the cutting process time. In this problem we introduce a new objective in the classic two-dimensional bin packing problem, where on top of maximising the total utilisation, we are also interested in minimising the number of different patterns needed to complete the demand. For this work, a pattern is defined as the coordinates of a set of pieces that will be cut from a bin. Minimising the number of patterns, will result in less changes on the settings of the cutting machine among bins, with a reduction on total cutting times. Beam search (BS) heuristic allows us to generate several partial solutions, with a local evaluation we will keep the best ones. The partial solutions are nodes into the tree search and represent a complete bin. Evaluating all child nodes of the same level will lead us to a global evaluation, then we can continue the branching process until the stopping criteria is met. In this manner we have a complete solution, that is, we have found a way to accommodated all the pieces into the bins and the number of copies each bin must be repeated. We introduce some novelty approaches in terms of the sorting of pieces, taking in consideration the number of repetitions of each piece. Preliminary test will be shown to demonstrate the efficiency of these new criteria.

## 6.26 Applications1

*Room: Compuaula3, Wednesday 09:00-10:10*

Session chair: Angélica Salas Montenegro

*Abstract ID 17 (Compuaula3, Wednesday 09:00-09:20)*

### Characterization and optimal design of a new multiple sampling attribute control chart

*Manuel J. Campuzano\** (Universidad del Magdalena)  
[mcampuzano@unimagdalena.edu.co](mailto:mcampuzano@unimagdalena.edu.co) Jose J. Muñoz  
 (Universidad del Magdalena); Nestor E. Caicedo Solano  
 (Universidad del Magdalena)

The control chart  $c$  is the most commonly used tool for monitoring the average number of nonconformities. This chart is easy to use, but its ability to detect small changes in the process is low and to improve it, it is necessary to inspect a large number of units, which increases the costs related to sampling. This work proposes a new

multiple sampling scheme for this control chart, which can be designed to improve the performance or reduce the inspection cost. The mathematical expression needed to perform an accurate evaluation of the Average Run Length (ARL) and the Average Sample Number (ASN) is derived. In addition, a bi-objective genetic algorithm is implemented to obtain the optimal design. This optimization aims at simultaneously minimizing the type II error probability and the ASN, while guaranteeing a desired level for the type I error probability. To exemplify the application of the newly developed chart and to evaluate the influence of various operational parameters, numerical examples are performed and related considerations are given. During the optimization procedure, constraints have been imposed on the ASN and the ARL under control, varying the input parameters, to finally compare the performance of the new chart with classical fixed parameter and other advanced attribute control charts.

*Abstract ID 357 (Compuaula3, Wednesday 09:20-09:40)*

### Desarrollo de un Framework basado en el Modelo de Sistema Viable (VSM) para el Sistema de Educación Superior (SES)

*Mercedes S Bustos\** (ITA) [msbustosd@gmail.com](mailto:msbustosd@gmail.com)  
 Francisco Cristovão Lourenço de Melo (ITA); Mischel  
 Carmen Belderrain (Instituto Tecnológico de Aeronáutica )

El sistema de educación superior (SES) es crucial para el desarrollo de cualquier país. Las universidades desempeñan un papel vital en la formación de capital humano y la promoción de la investigación y la innovación. Sin embargo, el actual SES enfrenta desafíos como la burocracia, la ineficiencia de la gestión, la falta de innovación y la baja adaptabilidad al cambio. Esta investigación desarrolla un framework para viabilizar el SES, enfocado en la gestión universitaria compleja debido a la diversidad de partes interesadas y sus recursos. El framework propuesto se basa en la Cibernética Organizacional (CO) y el Modelo de Sistemas Viables (VSM), permitiendo analizar las universidades como sistemas viables y proponer mejoras. Las ventajas del framework incluyen: 1. Marco Multimetodológico: Integración de componentes, orientación de red, multidimensionalidad, relación dinámica entre componentes, gestión multinivel y proceso recursivo. 2. Ciclo completo: desde la definición del sistema foco hasta el plan de implementación del VSM rediseñado, con técnicas detalladas de PSM y planificación estratégica. 3. Aplicabilidad práctica: Útil para iniciantes o expertos en VSM y organizaciones interesadas en su implementación. Además, el framework se destaca por su enfoque sistémico que integra todos los niveles de la organización educativa, asegurando un funcionamiento eficiente, y por su validación práctica en una universidad peruana (en ejecución), otorgándole una ventaja sobre otros modelos teóricos. Este estudio ofrece un importante aporte teórico y una herramienta práctica para enfrentar la complejidad de los SES, promoviendo una gestión universitaria más eficiente y adaptable.

*Abstract ID 266 (Compuaula3, Wednesday 09:40-10:00)*

### Aplicación de Redes para la Asignación de Materias en Caso Reticular

*Angélica Salas Montenegro\** (ITSSP)  
[angelica.sm@spapasquiario.tecnm.mx](mailto:angelica.sm@spapasquiario.tecnm.mx)

En periodo de inscripciones los estudiantes solicitan materias en el sistema interno del ITSSP. Dicha inscripción representa una dificultad para estudiantes irregulares, que representan la mitad de la población estudiantil. Ellos deben hacer un análisis previo sobre créditos, precedencias, materias de repetición y especiales que deben cursar de manera urgente y seleccionar materias a cursar. El problema de los estudiantes está aunado a las restricciones que el TecNM establece, los semestres máximos a cursar, créditos máximos y mínimos, competencias previas, etc. En ese contexto, se analiza el caso de un estudiante de Ing. Industrial que está en una situación crítica para lo cual se propone aplicar la metodología PERT CPM donde las duraciones dependen del tiempo que tarda en cursarlas y las precedencias son competencias previas que establece la red. Para el desarrollo del trabajo se sigue la metodología PERT-CPM donde

se definen actividades del proyecto, precedencias y tiempo, se modelan las precedencias como red y se hacen cálculos pertinentes hasta llegar a definir actividades críticas y la duración final (Taha,2004). La aplicación de la metodología es un recurso valioso para impulsar el rendimiento en diferentes proyectos tal como lo afirman Morán, Dávila y Trujillo (2024) quienes entre otras aplicaciones sustentadas, identifican actividades críticas de un proyecto con el fin de reducir los días de operación y mejorar su eficiencia. El objetivo del trabajo es brindar la mejor opción para que el estudiante curse sus materias en orden conveniente de prioridad y así, optimizar el tiempo de término de su carrera. Los resultados obtenidos usando el software POM QM arrojan una ruta crítica de las materias que debe cursar con carácter de no reprobar y una duración total de 30 meses, así, el estudiante terminaría la carrera en los meses permitidos, teniendo a bien, solicitar una prórroga en el semestre 12.

## 6.27 TSP2

Room: D33, Wednesday 09:00-10:10

Session chair: Paulina A Avila

Abstract ID 28 (D33, Wednesday 09:00-09:20)

### Modelado del problema del agente viajero sin preocupaciones de sub-rutas, con extensiones a ruteo de vehículos con tamaños de modelo independientes de la flotilla disponible

Federico Trigos\* (Tecnológico de Monterrey, EGADE Business School) [frigos@tec.mx](mailto:frigos@tec.mx) Mario A. Doria (Universidad Iberoamericana)

El Problema del Ruteo de Vehículos (VRP) es común en las empresas dedicadas a la distribución, transporte y logística. Es una extensión del Problema del Agente Viajero (TSP), a su vez uno de los más estudiados en la optimización matemática combinatoria. Actualmente el enfoque en optimización para VRP se basa en la búsqueda de circuitos optimizados, donde se presenta la necesidad de eliminar sub-rutas. Este esfuerzo incrementa significativamente el trabajo computacional de tal forma que la búsqueda de soluciones óptimas no es tan común debido a los tiempos de cómputo involucrados; en la actualidad, en la práctica se usan heurísticos para obtener soluciones suficientemente buenas. La contribución de este trabajo tiene dos vertientes: a) el desarrollo de modelos cerrados, con tamaño determinístico, para TSP, VRP y VRP con capacidad en los vehículos y con ventanas de tiempo para servir a clientes (CVRPTW), donde por diseño las sub-rutas no se presentan; el tamaño de los modelos para VRP y CVRPTW (número de restricciones y variables) es independiente del tamaño de la flotilla disponible; y b) un ejemplo empresarial real, para mostrar las propiedades de los modelos. Los resultados confirman la creación de valor significativo, empleando tiempo de computación accesible dentro de la operación normal de la empresa.

Abstract ID 77 (D33, Wednesday 09:20-09:40)

### Propuesta para rutas de vehículos de seguridad pública

Nilse Pamela Romero Basurto\* (UNAM) [nilsec9308@gmail.com](mailto:nilsec9308@gmail.com) Zaida Estefanía Alarcón-Bernal (Universidad Nacional Autónoma de México); Ricardo Aceves (Universidad Nacional Autónoma de México); Osvaldo E Palma Cabrera (UNAM)

El problema del agente viajero (TSP) tiene una amplia variedad de aplicaciones en distintos campos, como es en logística y distribución, planificación de rutas para servicios de emergencia, recolección de basura, reparto de correo y en muchas otras áreas donde es crucial optimizar la planificación y eficiencia de distintos procesos, incluyendo la seguridad pública. Este trabajo propone un método para generar rutas de patrullaje en la Ciudad de México (CDMX), utilizando da-

tos históricos de incidencia delictiva. A pesar de las diversas medidas implementadas para mejorar la seguridad pública en la CDMX, esta propuesta sugiere un modelo matemático basado en el TSP para diseñar rutas de patrullaje diversificadas, evitando así la predictibilidad. El modelo se resuelve mediante un algoritmo genético, una metaheurística bioinspirada. Se presenta un caso de estudio en un sector de la alcaldía Benito Juárez, donde se proponen rutas diarias para las patrullas en puntos identificados como de alta incidencia delictiva.

Abstract ID 214 (D33, Wednesday 09:40-10:00)

### Application of a multiple traveling salesman problem in a security service company: A case study.

Paulina A Avila\* (Universidad de las Américas Puebla) [pau.aleavila@gmail.com](mailto:pau.aleavila@gmail.com)

Keywords: mTSP, Time window, fuzzy numbers A generalization of the well-known Traveling Salesman Problem is the Multiple Traveling Salesman Problem (mTSP). In general terms, this problem consists of determining a set of tours for  $m$  salesmen, who all start from and return to a depot, such that each node is visited exactly once (Bektas, 2004). The problem addressed here is the Multiple Traveling Salesman Problem with Time Windows (mTSP-TW), where the traveling time and the service time of each customer are considered uncertain. We propose a mathematical model to solve this problem, with the objective of minimizing the cost, which includes the cost per kilometer and the cost of the employees. The arrival time for each customer must fall within the time window specified by the customer. The uncertainty of traveling and service times is addressed using triangular fuzzy numbers. We implement the  $\alpha$ -cut approach, which evaluates the fuzzy number based on the rightmost point for a given  $\alpha$ , representing the level of certainty the decision maker has (Brunelli and Mezei, 2013). The case study is related to a security service company with 4 employees and a set of 69 customers. Each customer needs to be visited once within a specific time window, and each employee has a limit on working hours. To test the mathematical model, a set of 13 instances with increments of 5 customers each was created. The program was executed on a conventional computer, with a time limit of 3600 seconds. Preliminary results showed some limitations regarding the number of customers that can be handled. Due to the complexity of this problem, a genetic algorithm is now being proposed. References Brunelli Matteo, Mezei Jozsef. How different are ranking methods for fuzzy numbers? A numerical study. Internal Journal of Approximate Reasoning 54, (2013): 627-639. Tolga Bektas, The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. Omega 34 (2006), pp 209-219.

## 6.28 Scheduling2

Room: Central10, Wednesday 09:00-10:30

Session chair: Ciro A Amaya

Abstract ID 242 (Central10, Wednesday 09:00-09:20)

### Técnicas de solución para un problema de programación de producción con ensamble.

Rafael Muñoz\* (Universidad Autónoma de Nuevo León) [rafael.munoz@aleph5.com](mailto:rafael.munoz@aleph5.com) Rafael Muñoz (Aleph5)\*; Yasmin Agueda Ríos Solís (Tecnológico de Monterrey); Iris A Martínez Salazar (Universidad Autónoma de Nuevo León)

En el presente trabajo se estudia un sistema de líneas de producción el cual se dedica al ensamble de un producto terminado. Dentro de la literatura se considera como un Hybrid Flow Shop para dos líneas de producción. La producción se realiza a nivel batch, la principal característica del sistema consiste en que las líneas de producción deben ser coordinadas, tal que los productos a ensamblar deberán llegar al mismo tiempo en la etapa de ensamble para poder unirse. Para

resolver el problema, nosotros proponemos un modelo matemático el cual tiene como función objetivo el makespan, así como dos metodologías basadas en metaheurísticas (GRASP y BRKGA) y una tercera metodología basada en una matheuristic, las cuales son probadas con instancias reales

*Abstract ID 319 (Central10, Wednesday 09:20-09:40)*

### **Algoritmo Genético Híbrido aplicado a un problema de Programación Integrada con lotes limitados. Caso de estudio: Proceso de fabricación de perfiles de aluminio extruido con acabado superficial**

Jonathan A Cisneros\* (CIMAT)

jonathan.cisneros@cimat.mx Joel A. Trejo (CIMAT);

Jonás Velasco (CIMAT Aguascalientes)

Este trabajo presenta una solución a un problema de programación de la producción basado en el proceso de fabricación de perfiles de aluminio extruido con acabado superficial. El caso de estudio pertenece al problema de Programación Integrada con un entorno general de máquinas clasificado como Flexible Job-Shop Scheduling Problem; la fase de entrega al cliente cuenta con vehículos heterogéneos y rutas preaprobadas según la composición de los lotes de distribución. El modelo tiene como objetivo cumplir con una meta de producto entregado a cliente al menor costo dentro de una ventana de tiempo definida. Se consideran restricciones de un entorno de producción real. La programación de los trabajos requiere de decisiones de secuenciación, asignación y agrupamiento por lotes con características dependientes de la operación. La metodología propuesta consiste en aplicar un algoritmo genético para determinar la secuencia de los trabajos, mientras que algoritmos heurísticos resuelven las decisiones de asignación y conformado de lotes para las fases de producción y distribución. Resultados preliminares muestran que el algoritmo propuesto converge hacia soluciones factibles y competitivas en comparación con los resultados obtenidos con el método que actualmente se emplea en el caso de estudio y otros métodos de optimización explorados.

*Abstract ID 188 (Central10, Wednesday 09:40-10:00)*

### **Optimización de la calendarización de imprenta para una casa editorial**

Juan A Lucio-Rojas\* (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey) A00833112@tec.mx

Avril M Ruiz Martínez (ITESM); Juan Pablo Sada (Tecnológico de Monterrey); Axel Q Caldera (ITESM); Fernando Elizalde (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey); Luis Fernando Navarro Saucedo (ITESM)

Las empresas se enfrentan con la necesidad de mejorar sus sistemas de producción para lograr un mejor aprovechamiento de sus recursos, lo cual genera un mayor beneficio económico y mejora la competitividad. El presente trabajo plantea una propuesta matemática para resolver un problema de scheduling aplicado en una editorial, teniendo por objetivo maximizar la utilidad del proceso de imprenta. Para esto se deben tomar en cuenta múltiples factores, incluyendo proveedores, tiempos de producción, fechas de entrega, la demanda de los distintos libros a producir y sus costos. Se propone un modelo de programación entera mixta que maximiza la utilidad, sujeto a las restricciones de fechas, cantidad y capacidad de producción, basado en la metodología Just in Time para reducir costos de inventario. El problema consta de un total de 27 libros, cada uno con fecha de inicio de impresión y de entrega distintas, las cuales pueden abarcar hasta 20 meses, alrededor de 600 días. Estos se dividieron en periodos de 5 semanas, una técnica simple pero que redujo la complejidad del problema en gran medida, pasando de tener más de sesenta mil variables a menos de dos mil. Se considera una cantidad de proveedores (en este caso 3) para satisfacer la demanda. El resultado es un modelo de baja complejidad computacional, ya que al hacer pruebas en el software GAMS se obtuvieron tiempos menores a 0.3 segundos y no necesita de grandes recursos. Además de ser flexible, aplicable a cualquier

cambio en el plan de imprenta de la empresa, y escalable a distintas industrias, al crear un plan de producción por periodo de demanda para cada proveedor, así como un listado de los diversos gastos de inventario y de penalización, junto con la utilidad máxima. Esta propuesta genera un impacto positivo en la economía y reputación de la empresa, agilizando el trabajo que conlleva hacer un plan de producción óptimo para aumentar la satisfacción del cliente. Además de una base para futuras investigaciones.

*Abstract ID 208 (Central10, Wednesday 10:00-10:20)*

### **Minimización del Makespan en líneas de producción tipo Flow Shop donde los tiempos de procesamiento varían en función de la hora del día**

Ciro A Amaya \* (Unianandes ) Ca.amaya@unianandes.edu.co

Alejandro Angarita (Unianandes)

En este artículo se analiza una variante del problema de programación de trabajos tipo Flow Shop, en el que se busca minimizar el tiempo máximo de finalización de todos los trabajos, considerando que los tiempos de procesamiento varían según la hora del día en que se programen las operaciones. El tiempo de procesamiento en este problema se modela en función de la hora de inicio del trabajo, teniendo en cuenta que el horizonte de planificación se divide en turnos de trabajo. Además, la máquina tiene una velocidad específica en cada turno, lo que determina el tiempo de procesamiento real de cada trabajo. El problema se resuelve mediante la adaptación de heurísticas clásicas como las heurísticas Slope y CDS, analizando tanto el problema como la calidad de las soluciones para algunas instancias generadas y su tiempo computacional.

## **6.29 Red-M4**

*Room: Aula Magna, Wednesday 14:00-15:30*

Session chair: Julián Meraz

*Abstract ID 88 (Aula Magna, Wednesday 14:00-14:20)*

### **Model for sustainable planting strategy in small rural properties**

Maria Creuza Borges De Araujo\* (Universidade Federal de Campina Grande) maria.creuza@professor.ufcg.edu.br

ARIADNE G Guerra Souza (Universidade Federal de Campina Grande); Jordana S Souza (Universidade Federal de Campina Grande)

In small rural properties, the farmers usually have financial and space restrictions, which brings the need to optimize resources for the best use of the crop. In addition, traditional agriculture promotes several problems, such as soil degradation and decreased productivity. In this sense, sustainable planting, which encompasses the three pillars of sustainability (social, financial, and environmental), reconciles care for the environment with concerns about crop productivity, becoming an outlet to promote monetary improvements with environmental protection policies for farmers. Then, the present research proposed a multi-criteria decision support model for planning sustainable agriculture on small rural properties. Initially, the Value-focused Thinking method is used to structure the problem. Then, the FITradeoff method is employed to obtain a ranking to define which sustainable planting strategy the farmer must use, considering several sustainability indicators. Finally, the proposed model was applied to a small rural property in Brazil. The model possibilities a structured and objective decision-making, considering various criteria, which can be qualitative or quantitative. As a result, it was the facilitation of planting management. It occurs due to the use of suitable sustainable planting techniques. It's increasing the productivity and profitability of rural properties and respects pillars of sustainability and decision-maker's preferences. Keywords: FITradeoff, Value-Focused Thinking, Planting

Abstract ID 173 (Aula Magna, Wednesday 14:20-14:40)

### Uma Proposta para Seleção Ótima de Fatores e Tratamento da Degeração de Resultados em Modelos DEA

Camila C Campos Colares Das Dores\* (Universidade Estadual do Ceara) [camilacamposcolares@gmail.com](mailto:camilacamposcolares@gmail.com)

Gerardo Valdisio Rodrigues Viana (Universidade Estadual do Ceara)

A Análise Envoltória de Dados DEA é uma técnica não-paramétrica que emprega programação matemática para construir fronteiras que avaliam a eficiência de unidades produtoras. Tais unidades, chamadas DMUs, (do inglês Decision Making Units) empregam processos tecnológicos semelhantes para transformar múltiplos insumos (chamados inputs) em múltiplos produtos (chamados outputs). O conjunto formado por todas as variáveis de input e de output é chamado de conjunto de fatores. Este trabalho aborda o problema da seleção de fatores de forma a evitar a degeração de resultados em modelos DEA. Tal fragilidade presente nos modelos clássicos ocasiona uma baixa discriminação das DMUs, posicionando praticamente todas na fronteira de eficiência. Este trabalho tratou o problema através da aplicação de uma metodologia que consiste basicamente em identificar a quantidade  $k$  adequada de fatores (no máximo a terça parte da quantidade de DMUs), calcular as todas as combinações dos fatores disponíveis tomados  $k$  a  $k$  e submeter cada uma dessas combinações aos modelos DEA. Considera-se como combinação ótima para um modelo aquela que maximiza as eficiências calculadas. O método proposto por este trabalho trouxe como resultado uma considerável discriminação entre as DMUs, que pode ser potencializada através da normalização dos índices de eficiência. Como utilizou-se neste estudo a quantidade máxima recomendada de fatores (a terça parte do total de DMUs), acredita-se que seja possível aumentar ainda mais o poder de discriminação dos modelos ao reduzir-se esta quantidade. Estudos posteriores serão realizados com o intuito de definir se há algum ponto de inflexão dos resultados à medida em que reduz-se a quantidade de fatores.

Abstract ID 93 (Aula Magna, Wednesday 14:40-15:00)

### Una formulación novedosa de programación por metas que integra el proceso analítico jerárquico para la selección de proveedores multicriterio.

Benjamin Pérez\* (Universidad Católica del Norte) [benjamin.perez@ce.ucn.cl](mailto:benjamin.perez@ce.ucn.cl) Francisco J. Tapia-Ubeda (Universidad Católica del Norte)

Las decisiones relacionadas a la gestión y en particular la selección de los proveedores es parte de las decisiones a nivel estratégico más relevantes para un desempeño eficiente de la cadena de suministro. Este proceso de toma de decisiones es tratado mayormente en la literatura como un problema basado en múltiples criterios para la decisión (e.g., costo, calidad, sostenibilidad). La apropiada selección de proveedores afecta no sólo en la configuración de la red de la cadena de suministro, sino que además en aspectos en todos los niveles organizacionales. En la última década el estudio de las estrategias y herramientas para la selección de proveedores ha cobrado especial relevancia, todo esto a la par de la evolución de los mercados. En esta investigación se propone un enfoque integrado de toma de decisiones para la selección de proveedores empleando un modelo que integra Programación por Objetivos y el Proceso de Análisis Jerárquico. Los resultados confirman que el modelo propuesto es competitivo con herramientas ampliamente aceptadas en la literatura y cada vez más ocupadas en la industria, esto mediante una comparación con TOPSIS y un análisis completo de sensibilidad considerando criterios y alternativas. La integración de un modelo matemático basado en Programación por Objetivos permite que la herramienta pueda integrar otras decisiones al proceso de selección de proveedores, lo que la convierte en una herramienta con gran potencial para ser utilizado en diferentes contextos industriales reales.

Abstract ID 30 (Aula Magna, Wednesday 15:00-15:20)

### Determinación de localizaciones alternas del Hospital de la Mujer en México: combinación de MCDA con programación 0-1

Julián Meraz\* (National Autonomous University of Mexico) [julianmerazrdz@gmail.com](mailto:julianmerazrdz@gmail.com) Mayra Elizondo Cortés (National Autonomous University of Mexico)

En México, como en el resto de los países latinoamericanos, las mujeres viven una situación de desigualdad socioeconómica debido a factores como deficiencia en el acceso a educación, baja ocupación laboral, brecha salarial, trabajos reproductivos, de cuidado y del hogar con casi nula remuneración. Aunado a esto, enfrentan obstáculos y limitaciones en el acceso a servicios médicos dignos, de calidad y libres de violencia. Esta grave desigualdad se recrudece en el caso de mujeres con capacidades diferentes o pertenecientes a grupos indígenas, o racializados y discriminados sistemáticamente. En el país existe el Hospital de la Mujer, cuya misión es proporcionar asistencia gineco-obstétrica de alta especialidad en un ámbito de respeto y dignidad, de manera oportuna y eficaz, satisfaciendo las expectativas de la población, garantizando su salud y bienestar. Sin embargo, actualmente los servicios de esta institución están localizados sólo en la Ciudad de México, lo que los vuelve centralizados e inaccesibles para las mujeres que no pueden realizar el traslado para hacer uso de ellos. A partir del deber de asegurar servicios de salud para las mujeres en México, y considerando que existe la posibilidad de expandir servicios de este hospital a todo el territorio, se hace necesaria la decisión estratégica de localizar nuevas ubicaciones para lograr un mayor acceso de las mujeres mexicanas a servicios gineco-obstétricos de calidad. Esta decisión requiere la consideración de múltiples criterios para evaluar las alternativas de ubicación que, además, deben obedecer restricciones particulares cuyo cumplimiento es de carácter combinatorio. De tal forma, se usó una estrategia de apoyo a la toma de decisiones que combina métodos multicriterio (AHP y PROMETHEE) para jerarquizar los estados de la República Mexicana con base en datos sociodemográficos, con un modelo de cobertura para determinar la localización óptima de las nuevas ubicaciones del Hospital de la Mujer.

## 6.30 AI4AgroIB3

Room: Auditorio Santander Norte, Wednesday 14:00-15:30

Session chair: Víctor Viana

Abstract ID 34 (Auditorio Santander Norte, Wednesday 14:00-14:20)

### Modelo de Programación Matemática para la Planificación de Cultivos y Distribución de Productos de Ciclo Corto Orientado a la Estabilización de Ingresos de Pequeños Productores del Departamento del Magdalena (Col.)

Pedro L Salcedo Ramírez\* (Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia) [psalcedo@unimagdalena.edu.co](mailto:psalcedo@unimagdalena.edu.co) Nestor Caicedo (Universidad del Magdalena); Hugo Mercado (Universidad del Magdalena)

Este trabajo busca mostrar el efecto que tiene la planificación de cultivos y distribución de productos de forma coordinada sobre los ingresos de pequeños productores hortofrutícolas (definidos como los que poseen máximo 2 hectáreas) en el departamento del Magdalena. Los productos a trabajar son frutas y hortalizas de ciclo corto, el objetivo del documento es presentar un modelo de programación matemática que minimice las oscilaciones de los ingresos de los pequeños productores y simultáneamente maximice su ganancia. En el trabajo se presenta un modelo de programación matemática que determina: combinaciones de cultivo, las cantidades a sembrar, el momento de siembra, quien lo siembra, y como se desarrolla la distribución a lo

largo de la cadena de suministro, hasta el cliente final. Las estrategias utilizadas buscan evitar la sobreoferta y la escasez de producto, generada por la actuación no coordinada de los productores y la consecuente oscilación de los precios que afecta directamente los ingresos y las utilidades del productor. Además, el modelo optimiza el uso de los recursos a lo largo de la cadena de suministros al aprovechar los mecanismos de sincronización y coordinación entre los diferentes actores del sistema.

*Abstract ID 48 (Auditorio Santander Norte, Wednesday 14:20-14:40)*

### Simulation for better Decision Making in Dairy Farms

Oswaldo Palma\* (Universidad Andrés Bello / Universidad de Lleida) [osvaldo.palma@unab.cl](mailto:osvaldo.palma@unab.cl) Lluís Pla (University of Lleida); Alejandro Mac Cawley (Pontificia Universidad Católica de Chile); Víctor M Albornoz (Universidad Técnica Federico Santa María)

Milk and beef production are crucial for a sustainable and profitable food supply. With increasing demand for agricultural products, informed decision-making is essential. Discrete event simulation is a valuable tool for modeling complex systems with random variability. Unlike traditional analytical models, simulation offers significant advantages in smart management, analyzing reproductive alternatives' impact and optimizing production. This study develops a discrete event simulation model for a dairy herd, limiting cow age to 10 years. Various culling strategies for disease or reproductive issues are considered, with transition probabilities based on binomial distributions. Inputs include herd distribution and key performance indexes like average age and economic performance. Verification compared results with a Markov chain model, while validation used literature data. The validated model compares culling strategies and investigates twinning rates' effects. Net economic value for the base case is \$2020 per cow per year, consistent with prior studies. Unlike others, our results show no significant negative impact from twin calving on herd performance. Increased culling probability and health issues like mastitis or ketosis incur economic losses but are offset by additional calf income. Specifically, when the probability of culling increases by 14%, the additional replacement cost of culling cows amount to \$53.74 per cow. However, reducing the probability of culling for a twin calving cow by 2% results in a marginal benefit of \$8. As conclusion we have shown the utility of discrete event simulation models to support decision making in dairy farms considering clue aspects like cow replacement and reproductive performance. We argue this methodology should be considered in smart management tools. In future, we would like to extend our model adding more details, such as considering abortions, mortality reasons, and a variable time step.

*Abstract ID 241 (Auditorio Santander Norte, Wednesday 14:40-15:00)*

### Optimización de la canasta de productos agrícolas de un pequeño productor bajo un enfoque de teoría de portafolios

Andrés Mauricio Paredes Rodríguez\* (Universidad del Valle)

[ANDRES.PAREDES@CORREOUNIVALLE.EDU.CO](mailto:ANDRES.PAREDES@CORREOUNIVALLE.EDU.CO)

Juan Pablo Orejuela (Universidad del Valle); Camilo Micán (Universidad del Valle); Juan Carlos Osorio (Universidad del Valle)

Los pequeños productores agrícolas son un actor indispensable para alcanzar la soberanía alimentaria de países poco industrializados ya que son los encargados de suministrar los alimentos que se comercializan a lo largo de la cadena de suministro. Una de las decisiones a las que se enfrenta el pequeño productor está relacionada con la cantidad y tipo de cultivo que debe sembrarse, ya que el capital financiero disponible de este eslabón es poco y los productos agrícolas

presentan cosechas por ciclos lo que puede ocasionar que en algunos periodos durante el año el campesino no perciba ingreso por la venta de ningún alimento, afectando su estabilidad financiera. En la presente investigación se propone un modelo matemático que busca determinar la combinación óptima de un conjunto de productos agrícolas para un pequeño productor desde un enfoque de la teoría de portafolio, buscando obtener una estabilidad en los ingresos derivado de la venta del producto y reducir las pérdidas financieras ocasionadas por la ocurrencia de riesgos. La metodología usada para el estudio consta principalmente de tres fases: la primera asociada a la caracterización de los productos agrícolas que pueden ser cultivados por un pequeño productor en la zona rural de una ciudad colombiana; posteriormente en la segunda etapa se construye el modelo matemático teniendo en cuenta una serie de supuestos obtenidos a partir del proceso de caracterización; además se definen los conjuntos, variables, función objetivo y limitaciones del modelo. Por último, en la tercera fase se establece un caso de estudio para validar la efectividad del modelo propuesto. Dentro de los principales resultados obtenidos en la investigación se encuentra el establecimiento de un portafolio de productos agrícolas que permite garantizar una estabilidad en los ingresos del pequeño productor, al mismo tiempo que reduce las pérdidas financieras asociadas a la ocurrencia de riesgos en su operación.

*Abstract ID 40 (Auditorio Santander Norte, Wednesday 15:00-15:20)*

### Programación matemática para la optimización de sistemas silvopastoriles: una aplicación en Uruguay

Víctor Viana\* (UdelaR, UTEC) [victor.viana@fing.edu.uy](mailto:victor.viana@fing.edu.uy)

Malena Costa (Universidad de la República); Juan Gonzalez (Universidad de la República); Victoria Martínez (Universidad de la República); Héctor Cancela (Universidad de la República); Pedro Piñeyro (Universidad de la República)

Los sistemas silvopastoriles son un tipo de sistema agroforestal que integra, de forma organizada, árboles, ganado y pasturas, buscando maximizar la producción global del sistema de manera sostenible con el medioambiente. Para maximizar el beneficio de este tipo de sistemas, se propone y evalúa un modelo de optimización de programación matemática. El objetivo principal del modelo es determinar la mejor configuración espacial de los árboles, teniendo en cuenta aspectos ganaderos así como características propias del terreno. Además, el modelo proporciona la carga máxima de ganado en cada año y las ganancias finales que se obtienen por las actividades ganadera y forestal, sugiriendo el año de corte de la madera. El modelo fue desarrollado a partir de un caso real en Uruguay, para un predio donde se pretende aplicar un sistema de producción de silvopastoreo. Se llevó a cabo una extensa experimentación numérica con el fin de analizar el impacto en las soluciones del modelo, de ciertos parámetros de interés, como por ejemplo, el porcentaje de árboles comercializables en el año de corte, factores de crecimiento y densidad de los árboles, y el consumo de materia seca del ganado. Tanto para el caso base como para el resto de los casos de la experimentación numérica, se obtuvieron resultados que presentan variaciones consistentes con la realidad en términos del número de árboles a plantar, ganancia forestal y ganancia ganadera. Por lo tanto, se concluye que a través de un enfoque de programación matemática es posible capturar eficientemente el comportamiento y la evolución a lo largo del tiempo, de los componentes principales de los sistemas silvopastoriles, y que los resultados obtenidos pueden ser útiles para el apoyo en la toma de decisiones a productores que buscan implementar este tipo de sistemas.

## 6.31 Multiobjective2

*Room: Auditorio Santander Sur, Wednesday 16:00-17:30*

Session chair: Nuria Gómez-Vargas

*Abstract ID 234 (Auditorio Santander Sur, Wednesday 16:00-16:20)*

### **A Bounded Archiver for Hausdorff Approximations of the Pareto Front for Multi-Objective Evolutionary Algorithms**

Carlos I Hernández Castellanos\* (UNAM)  
[carlos.hernandez@iimas.unam.mx](mailto:carlos.hernandez@iimas.unam.mx) Oliver Schuetz  
 (CINVESTAV-IPN)

In many applications, one is faced with the problem of optimizing several (conflicting) objectives concurrently. One important characteristic of such multi-objective optimization problems (MOPs) is that one cannot expect to obtain one single solution as for "classical" scalar optimization, but rather an entire set of solutions, the so-called Pareto set. More precisely, one can expect that the Pareto set of continuous MOPs forms at least locally a manifold of dimension  $k-1$ , where  $k$  is the number of objectives considered in the problem. Multi-objective evolutionary algorithms (MOEAs) have been successfully applied for the numerical treatment of MOPs during the last three decades. One important task within MOEAs is the archiving (or selection) of the computed candidate solutions, among others, due to the cardinality of the Pareto set. In this work, we present and analyze ArchiveUpdateHD, a bounded archiver that aims to achieve Hausdorff approximations of the Pareto front. We show that the sequence of archives generated by ArchiveUpdateHD yields under certain (mild) assumptions with probability one after finitely many steps, a Delta-approximation of the Pareto front (the image of the Pareto set). The value of Delta is computed by the archiver within the run of the algorithm without any prior knowledge of the Pareto front. The knowledge of this value is of great importance for the decision maker since it measures the "completeness" of the Pareto front approximation. Further, we test the approach on several well-known academic test problems for two and three objectives and the usage of ArchiveUpdateHD as an external archiver within three widely used MOEAs (NSGA-II, SMS-EMOA, and MOEA/D). Our results indicate a benefit of the novel strategy measured by classical performance indicators.

*Abstract ID 143 (Auditorio Santander Sur, Wednesday 16:20-16:40)*

### **Evaluating the Performance of Population-Based Multiobjective Optimization Algorithms Using Composite Quality Indicators**

Sandra Gonzalez Gallardo\* (University of Malaga)  
[sandragg@uma.es](mailto:sandragg@uma.es) Rubén Saborido (University of Málaga);  
 Ana B. Ruiz (University of Malaga); Mariano Luque  
 (University of Malaga); Antonio Borrego-Ortega  
 (University of Malaga)

The quality indicators (QIs) are essential for evaluating the performance of population-based multiobjective optimization algorithms. These indicators assess the quality of the approximation set obtained by the algorithms in terms of convergence, spread, uniformity, and diversity (a combination of the last two). However, most QIs fail to capture all these properties comprehensively. To address this, we propose constructing a set of composite quality indicators (CQIs) that aggregate information from several QIs simultaneously. To build the CQIs we use the double reference point methodology (DRP-based CQIs), resulting in three specific CQIs: the weak DRP-based CQI (W-CQI), which provides a global overview of the quality of the approximation obtained, presenting a compensatory scenario among the QIs; the strong DRP-based CQI (S-CQI), which is based on a non-compensatory scenario and highlights the worst single QI value; and the mixed DRP-based CQI (M-CQI), which is a linear combination of the W-CQI and S-CQI. The DRP-based methodology standardizes all QIs on a common scale, informing us about the level of achievement on each QI concerning the reference levels used. In this work, we validated the benefits of these composite indicators by comparing 18 population-based optimization algorithms on well-known three-

five-, and eight-objective optimization problems (DTLZ1, IDTLZ2, and WFG2), using 10 well-known QIs evaluating different performance criteria (i.e., QIs measuring convergence, spread, uniformity, and diversity). Our experiments demonstrated the valuable insights provided by the DRP-based CQIs, in comparison to the information provided individually by each QI. We highlighted the importance of assessing algorithms' performance through both compensatory scenarios (using the W-CQI) and non-compensatory ones (using the S-CQI). Additionally, the results allowed us to establish a ranking of algorithms based on their aggregated QI performance, determined using the M-CQI.

*Abstract ID 232 (Auditorio Santander Sur, Wednesday 16:40-17:00)*

### **Feasibility and Applications of Multiobjective Bilevel Optimization**

Jesús-Adolfo Mejía-De-Dios\* (Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila) [adolfomejia@uadec.edu.mx](mailto:adolfomejia@uadec.edu.mx)

There are important real-world problems in which two decision makers are involved in a hierarchical scheme, where the optimal decisions of one (at a higher level) depend on the other (at a lower level). Such scenarios can be modeled by bi-level optimization, in which the objectives of the higher level are optimized subject to the fact that the decisions made at the lower level, which is nested to the higher one, are optimal. Evolutionary Bilevel Optimization (EBO) has emerged as a very practical computational tool to solve bilevel scenarios that are complicated to deal with in theory. In this talk, we will address the challenges and advantages of EBO for the multi-objective case. In addition, we will discuss how the bilevel structure affects the feasibility, optimality, and diversity of solutions in different concerns. Practical examples with real applications in areas of engineering, logistics and machine learning will be given to illustrate that bilevel optimization is a useful tool for modeling and decision-making in hierarchical problems.

*Abstract ID 27 (Auditorio Santander Sur, Wednesday 17:00-17:20)*

### **Mathematical Optimization to solve the Contextual Multiobjective Inverse Ideal Point Problem**

Nuria Gómez-Vargas\* (Universidad de Sevilla)  
[ngvargas@us.es](mailto:ngvargas@us.es) Rafael Blanquero (Universidad de Sevilla);  
 Emilio CARRIZOSA (Universidad de Sevilla)

We propose a Mathematical Optimization model tailored to address the challenging Contextual Multiobjective Inverse Ideal Point Problem (CMIIPP). The CMIIPP involves yielding the underlying several objective functions of a multicriteria unknown decision-making problem based solely on a set of pairs of observed optimal decisions concurrently with the context in where they were made, particularly applied to the Ideal Point Problem in multiobjective optimization. By formulating the CMIIPP as a Mathematical Programming model, our approach offers a framework to uncover the implicit preferences governing the decision-making process that led to a given solution of minimum distance to an ideal point preserving its consistency. Furthermore, considerations are made for incorporating domain-specific knowledge to enhance applicability and exploring other requirements such as interpretability. For the chosen distance metric, our model results in a Mixed-Integer Quadratically-Constrained Programming problem implemented in Gurobi. Finally, a practical case of our model is tested on a nutrition problem example.

## **6.32 Machine Learning2**

*Room: Auditorio Santander Norte, Wednesday 16:00-17:30*

Session chair: Pamela J. Palomo-Martínez

*Abstract ID 168 (Auditorio Santander Norte, Wednesday 16:00-16:20)*

### **A comparison between regression methodologies for the optimal prediction of corrosion inhibition efficiency in steel**

Carlos Beltrán-Pérez\* (*Tec Monterrey - Toluca*)  
[carlos.beltran@tec.mx](mailto:carlos.beltran@tec.mx) Alan Joel Miralrio-Pineda (*Tec Monterrey - Toluca*); Andrés Antonio Abundis-Serrano (*Tec Monterrey - Toluca*)

Organic molecules derived from plant extracts have recently been tested for their corrosion inhibition potential. Consequently, computational approaches based on the QSAR/QSPR paradigm have been postulated as alternatives to experimental approaches. The above paradigm aims to obtain math models useful for predicting the chemical properties of species in terms of a set of quantitative descriptors [1]. This study explores 3 families of regression models to predict the corrosion inhibition efficiency (IE%) of commercial drugs as organic corrosion inhibitors through QSAR/QSPR relationships. The analysis includes a 60 commercial drug set, merging experimentally derived physicochemical descriptors with energetically computed properties using quantum chemical methodologies [2]. Our study reveals that each approach exhibits innate strengths and limitations. The 1st-order NARX model facilitates dimensionality reduction from 10 initial descriptors to just 5 key variables EHOMO, ELUMO, pKa, ?, ?N highlighting the role of energetic and electronic attributes in explaining the corrosion inhibition behavior of organic compounds. A 2nd-order NARX model offers insights into optimal EHOMO energy, enhancing the understanding of molecular behavior. Moreover, employing Extra Tree Regression through IBM s Watson AutoAI emerges as a precise model. External validation, including MAPE, MSE, and RMSE, demonstrate promising results of 5.9, 44.1, and 6.6, respectively. This work culminates by estimating corrosion inhibition efficiency using the optimal QSAR models for a comprehensive 750 drugs set. The evaluation confirms consensus among the 10 optimal substances, emphasizing the potential for future investigations into corrosion inhibition properties for these candidates. [1] Pearson, R. G. (1988). *Inorganic chemistry*, 27(4), 734-740. [2] Beltran-Perez, C., Serrano, A. A., Orozco-Cruz, R., Espinoza-Vázquez, A., Miralrio, A. (2022). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5086.

*Abstract ID 370 (Auditorio Santander Norte, Wednesday 16:20-16:40)*

### **Predictive Clarity: Decoding ML and DL Time Series Models**

Santiago Ospina Ferreira\* (*Pontificia Universidad Javeriana*) [ospinafsantiago@javeriana.edu.co](mailto:ospinafsantiago@javeriana.edu.co) David Ariza (*Pontificia Universidad Javeriana*)

Machine and Deep Learning models have become powerful tools for time series forecasting, but they often present interpretability challenges, especially when dealing with a Rashomon set set of almost equal performing models that can present varying feature importances. This research aims to enhance model interpretability and improve post-processing feature evaluation by proposing an electronics-inspired approach to evaluate model class reliance throughout predictions, reducing the computational cost of combinatorial feature removal. Multiple predictive models, including XGBoostRegressor, LightGBMRegressor, GradientBoostingRegressor, RandomForestRegressor, and DecisionTreeRegressor, among others are assessed. Models within the Rashomon set are identified using the U Mann-Whitney test based on their MAPE performance. Model feature importances are compared to understand the variation in feature significance across models. Feature combinatorial experiments are conducted to evaluate the effects of feature removal and interaction on MAPE. The proposed subsampling method, inspired by electronics principles, is tested for computational efficiency, aiming to de-

termine the most important features in forecasting and identify the best-performing feature sets. This research seeks to address interpretability and computational challenges, providing more efficient and insightful analysis of feature importances in time series forecasting models.

*Abstract ID 343 (Auditorio Santander Norte, Wednesday 16:40-17:00)*

### **Aircraft Engine RUL Prediction using Machine Learning Models**

María G Villarreal Marroquin\* (*Tecnológico de Monterrey*)  
[maria.villarreal@tec.mx](mailto:maria.villarreal@tec.mx) Jonathan Montalvo-Urquiza (*Tecnológico de Monterrey*); Juan Echeagaray (*Tecnológico de Monterrey*)

The aim of this work is to develop an advanced predictive maintenance (PdM) framework for turbofan engines, a crucial component of aircraft operation. Predicting Remaining Useful Life (RUL) is essential for maintaining safety and efficiency. The approach involves converting run-to-failure data into more efficient formats, segmenting flights, and extracting features using statistical descriptors. A variety of efficient machine learning (ML) models, such as Random Forest, XGBoost, Catboost, SVM, among others are employed to predict the RUL. The ML models underwent training and testing (80-20 split) with default hyperparameters. The models were ranked based on their PHMAP loss function on the test set. The PHMAP lost function is the average of the RMSE (Root Mean Square Error) and the NASA's scoring function which is an asymmetric lost function with higher penalties for overestimating. After selecting the model to be used (the XGBoost algorithm), the Tree-structured Parzen Estimator (TPE) a Bayesian Optimization algorithm was executed for 500 iterations to search for the hyperparameters of the main model (RUL estimator) and 2 secondary models (lower and upper bounds of prediction interval). In contrast to Grid Search and Random Search, which explore the hyperparameters space without learning, Bayesian Optimization algorithms consider past trial information to propose more promising configurations. Interpretability is also ensured using Shapley values. Efficiency is demonstrated through a proof of concept using the NCMAPSS dataset, showing that accurate RUL estimates can be achieved on a personal computer with a standard GPU. Performance is expected to improve when implemented on dedicated hardware. This framework is anticipated to significantly reduce operational costs by enabling informed maintenance scheduling, thereby enhancing safety and reliability.

*Abstract ID 100 (Auditorio Santander Norte, Wednesday 17:00-17:20)*

### **Selección de atributos para tareas de clasificación desde un enfoque combinatorio**

Pamela J. Palomo-Martínez\* (*Universidad de Monterrey*)  
[pamela.palomo@udem.edu](mailto:pamela.palomo@udem.edu) Martha-Selene Casas-Ramírez (*Centro de Investigación en Matemáticas, A.C., Nuevo León*)

En el contexto del aprendizaje automático, la selección de atributos o feature selection desempeña un papel fundamental. La selección de atributos consiste en la elección de las variables independientes que se incorporarán al modelo, con el objetivo de optimizar el tiempo de entrenamiento de los algoritmos y evitar sesgos. En este trabajo se aborda la selección de atributos para tareas de clasificación desde una perspectiva combinatoria, asignando a cada atributo una variable de decisión binaria que determina su inclusión o exclusión en el modelo y optimizando dos objetivos de forma simultánea: minimizar el número de atributos seleccionados y maximizar alguna métrica de desempeño del clasificador, tal como accuracy, precision, recall, etcétera. Para resolver el problema, se propone emplear un algoritmo basado en Adaptive Large Neighborhood Search cuyos operadores de destrucción y reparación están inspirados en estrategias del estado del arte para la selección de atributos. En la charla se presentarán

los resultados obtenidos a través de experimentos computacionales, utilizando bases de datos de la literatura.

## 6.33 Waste2

Room: *Diseño2, Wednesday 16:00-17:30*

Session chair: Gabriel E. Gutiérrez-Jarpa

Abstract ID 239 (*Diseño2, Wednesday 16:00-16:20*)

### Diseño de la red de la cadena de suministros para el reciclaje de baterías de litio integrando aspectos de sostenibilidad

Emilio Galvez Corrales\* (*Universidad Católica del Norte*)  
[emilio.galvez@ce.ucn.cl](mailto:emilio.galvez@ce.ucn.cl) Pablo A. Miranda-Gonzalez  
 (Universidad Católica del Norte); Francisco J.  
 Tapia-Ubeda (*Universidad Católica del Norte*); Sebastian  
 Herrera (*Universidad Católica del Norte*)

La creciente demanda de baterías de litio, impulsada gracias al desarrollo del mercado de los automóviles eléctricos ha generado un significativo requerimiento por el reciclaje de baterías al fin de su vida útil. En este sentido, la dispersión geográfica de los puntos de acumulación de baterías genera una gran presión en la cadena de suministro para el reciclaje eficiente y sostenible de estos productos. En este trabajo se desarrolla el diseño de la red de la cadena de suministros para el reciclaje de baterías de Litio en Latinoamérica, la cual integra aspectos de sostenibilidad. En particular, el modelo propuesto optimiza la red localizando centros de recolección y evaluación de baterías de Litio y plantas de reciclaje de baterías de Litio en el territorio Latinoamericano. Corresponde a un modelo multiobjetivo, donde se evalúan aspectos económicos y medioambientales. La red para el reciclaje de baterías de Litio considera desde que las baterías se encuentran en desuso, hasta que son recicladas y transformadas en materias primas para ser utilizadas nuevamente en el proceso de fabricación de nuevas baterías. El modelo considera diversos tipos de baterías a reciclar, así como productos obtenidos del proceso de reciclaje. Es un modelo novedoso que considera el desarrollo de la red para el reciclaje de baterías de Litio en una región donde el desarrollo del reúso y reciclaje de baterías de Litio no están establecidos. Se han testeado diferentes escenarios y se han obtenido conclusiones relevantes que ayudarán a soportar los procesos de toma de decisiones en los próximos años en los ámbitos público y privado.

Abstract ID 211 (*Diseño2, Wednesday 16:20-16:40*)

### Optimización multiobjetivo para el diseño de una cadena de suministro circuito cerrado sustentable

Joel-Noví Rodríguez-Escoto\* (*Universidad Panamericana*)  
[jorodrigu@up.edu.mx](mailto:jorodrigu@up.edu.mx) Elias Olivares-Benitez (*Universidad Panamericana*); Samuel M Nucamendi-Guillén  
 (Universidad Panamericana); Julie Drzymalski (*Temple University*)

Una red de cadena de suministro de circuito cerrado sostenible requiere la coordinación de logística directa e inversa para abordar problemas que consideren factores económicos, ambientales y sociales. En la práctica, se pueden abordar estos problemas priorizando objetivos o interactuando entre ellos para ofrecer una variedad de soluciones. Este trabajo propone un nuevo problema de red de suministro circuito cerrado sostenible basado en el diseño de red revisado con centros de recuperación híbridas (RENDER) e incluye una dimensión social innovadora, el cual minimiza tres objetivos: Costo económico total, emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos y la exposición de la población a instalaciones indeseables. Para probar el modelo, se crearon instancias que se implementaron en varios métodos: AUGMECON2, Relajación de Programación Lineal para mejorar el tiempo de ejecución, AUGMECON2-EXTENDED entero para obtener más soluciones y AUGMECON2-EXTENDED relajado para evitar explorar todo

el espacio de solución. Los resultados muestran que AUGMECON2-EXTENDED relajado supera a los otros métodos con una mejora promedio de: 50% en número de soluciones del frente de Pareto (NPS), 60% en tiempo computacional, 90% en relación de soluciones óptimas del frente de Pareto (RPOS), 60% en dominancia absoluta (QM) y 5.7% en hipervolumen (HV). Se aplica un análisis de sensibilidad con un diseño de experimentos factorial 2<sup>3</sup> para evaluar la influencia de tres factores: Demanda de puntos de venta, capacidad de vehículos y costo fijo de instalaciones, evidenciando que la demanda de puntos de venta, capacidad de vehículos y su interacción tienen impacto significativo, mientras que, el costo fijo de instalaciones no tiene efecto significativo. El modelo tiene implicaciones sociales significativas en cuanto a que minimizar la exposición a instalaciones indeseables puede reducir en más del 50% el aumento del costo económico total y de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que destaca la importancia de la sustentabilidad.

Abstract ID 158 (*Diseño2, Wednesday 16:40-17:00*)

### Diseño de la cadena de suministro para la implementación de la estrategia de retornabilidad de envases y empaques en el marco regulatorio de los planes colectivos colombianos

Betzy Cárdenas-Ibáñez\* (*Universidad de Antioquia*)  
[betzy.cardenas@udea.edu.co](mailto:betzy.cardenas@udea.edu.co) Pablo Maya-Duque  
 (Universidad de Antioquia); Gloria Lucía Ramírez  
 (Universidad de Antioquia)

La industria colombiana presenta bajos niveles de sostenibilidad en el uso de materiales para empaques y envases de productos, y aunque existen lineamientos y normativas para la gestión de este tipo de materiales, su impacto es limitado. Colombia no ha sido ajeno a la creciente preocupación y se han propuesto estrategias en el marco de la Economía Circular (EC) como la Responsabilidad Extendida del Productor (REP). La política ambiental de envases en Colombia establece la Resolución 1342 de 2020, en la que se definen métricas de REP en relación con el uso de envases retornables. Estas pueden ser abordadas a través de planes individuales o colectivos, donde los productores asumen los costos asociados al tratamiento de sus productos al final de su vida útil. Adicionalmente, se incorpora el concepto de retornabilidad, en la cual el productor es responsable de recoger los envases post-consumo para su reutilización. Sin embargo, la implementación de la retornabilidad dentro de los planes colectivos se enfrenta al reto logístico de integrar a múltiples actores con diferentes tipos de envases, lo que aumenta la escala del flujo de materiales y, por tanto, la complejidad en la gestión. Este estudio identifica los retos y las herramientas analíticas que intervienen en la gestión y el diseño de la red para el sistema de retornabilidad. Se propone un modelo matemático utilizando el solver Gurobi y Pyomo como paquete de optimización. El modelo integra decisiones a nivel estratégico y operativo para el estudio de caso de un plan colectivo colombiano. En el primer caso, se define la localización de las facilidades; y en el segundo aspecto, se aborda el ruteo de vehículos. Se consideran aspectos multiperíodo, multiproducto y multiobjetivo en la formulación matemática. La función objetivo del modelo busca minimizar los costos y el impacto ambiental percibidos por el sistema de retornabilidad. Además, se propone realizar análisis de sensibilidad sobre parámetros claves.

Abstract ID 201 (*Diseño2, Wednesday 17:00-17:20*)

### Network Design of Recycled Organic Waste

Gabriel E. Gutiérrez-Jarpa\* (*Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*) [gabriel.gutierrez@pucv.cl](mailto:gabriel.gutierrez@pucv.cl) Germán Paredes-Belmar (*Pontificia Universidad Católica de Valparaíso*); Carola Blazquez (*Universidad Andres Bello*)

The projection of global waste generation presents a sustainable increase in the future that is alarming. Having only one system that collects and deposits in landfills negatively affects the environment and the economy. This has prompted countries to generate policies encouraging recycling to reduce waste in landfills. One way is to reco-

ver the organic material generated in cities and transform it into compost, which positively affects land fertilization for cultivation. This recycling system requires a set of processes, such as collecting organic materials from generation points to composting plants, transforming organic material into compost, and distributing compost to demand points. In particular, the transformation process uses piles, which store the organic material until it is transformed into compost. In this research, we study the network design that involves the location of compost plants and the number of piles, considering the increasing collection of organic waste from the generation points for the planning horizon. The objective minimizes the total cost, including the location of composting plants, transportation of organic material collection and distribution of compost, trucks used for collection and distribution, and processing in the piles. We present a mixed integer linear programming model for the network design of recycled organic waste, and we solve the case study of a city in Chile

## 6.34 Healthcare4

*Room: Aula Magna, Wednesday 09:00-10:30*

Session chair: Matías De Geyter Messina

*Abstract ID 206 (Aula Magna, Wednesday 09:00-09:20)*

### Workers well-being-based model for personnel scheduling in health organizations

*Karen Yineth Niño\** (Universidad Militar Nueva Granada) [karen.nino@unimilitar.edu.co](mailto:karen.nino@unimilitar.edu.co) Dagoberto Castillo (Universidad Militar Nueva Granada); Oscar Buitrago (Universidad Militar Nueva Granada); Diana Lopez-Soto (North Dakota State University)

Considering the fast rhythm of life that today's world is experiencing thanks to the continuous development of technology, people are facing overwork to deal with this reality; that means people must dedicate every time to develop their work to keep up with the needs of society and the world. This leads to external factors in the social and work environment beginning to affect biological, physical, and behavioral factors of people such as sleep, stress, fatigue, and chemical changes. As a result, the decreasing and deterioration of the workers' rest time is resulting in deficiencies in their health and safety of work as well as a decrease in their job performance. To deal with this challenge, this project proposes a personnel scheduling model considering constraints associated with alterations in the circadian cycle that could affect the workers' performance in the case of shift work jobs such as medical and nursing staff, the main objective is productivity improvement. The results show that considering a well-being approach in personnel scheduling improves productivity while reducing worker fatigue because shifts are scheduled according to their rest and fatigue recovery cycles framed in the circadian cycle. Likewise, results suggest a first approach towards a decision-making tool for personnel scheduling that not only considers productivity measures but also the well-being of workers in health organizations.

*Abstract ID 258 (Aula Magna, Wednesday 09:20-09:40)*

### Multi-objective model for the stochastic nurse scheduling problem by considering special holiday events and absenteeism

*Daniel Morillo-Torres\** (Pontificia Universidad Javeriana Cali) [daniel.morillo@javerianacali.edu.co](mailto:daniel.morillo@javerianacali.edu.co) Natalia Baquero (Pontificia Universidad Javeriana Cali); John Escobar (Universidad del Valle)

Efficient nurse scheduling is a theoretical and crucial aspect of the hospital environment. It is fundamental to ensuring the quality of medical care and the well-being of patients and healthcare staff. The Nurse Scheduling Problem (NSP) involves finding a balance between the allocation of available resources and the needs of the hospital sys-

tem. However, inadequate shift allocation could generate excessive workload, affecting the physical and emotional health of nurses, as well as the operational efficiency of a hospital. In this context, it is essential to develop solutions that minimize the negative impact on staff satisfaction while optimizing available resources and reducing associated costs. Besides, considering a static allocation over time is unrealistic because nurses are susceptible to various risks that may prevent them from fulfilling their assigned shifts. This work addresses the stochastic version of the NSP by considering innovative aspects, such as unscheduled absenteeism (as a stochastic component) and allocation during holidays based on past schedules. We propose a solution methodology based on a two-stage stochastic mixed-integer linear programming model to obtain efficient results. First, a deterministic model is proposed to address the considered problem, without the presence of nurse absenteeism but with allocation on planned and holiday dates, assigning specific shifts and extra shifts to meet patient demand. Subsequently, a stochastic model is proposed where the absenteeism component is added, and the Sample Average Approximation (SAA) method is used to solve the problem. The proposed approach for the stochastic NSP has practical implications that can significantly improve hospitals' operational efficiency, enhance staff satisfaction, and ultimately contribute to better patient care. The obtained results demonstrate the efficiency of the proposed methodology in achieving high-quality solutions.

*Abstract ID 299 (Aula Magna, Wednesday 09:40-10:00)*

### Optimizing Fairness and Reliability in a Kidney Exchange Program

*Diana L. Huerta Muñoz\** (Graduate Program in Systems Engineering, Universidad Autónoma de Nuevo León) [diana.huertam@uanl.mx](mailto:diana.huertam@uanl.mx) Roger Z. Ríos Mercado (Graduate Program in Electrical Engineering, Universidad Autónoma de Nuevo León); Homero A. Zapata Chavira (Transplant Services, School of Medicine, Universidad Autónoma de Nuevo León)

Kidneys perform a crucial role in filtering waste products and maintaining a balanced blood composition. Chronic Kidney Disease is a five-stage condition where the kidneys gradually lose function over time. The last stage corresponds to kidney failure, also known as End-Stage Renal Disease (ESRD), in which kidney function is severely damaged making transplantation the best treatment for many ESRD patients. Given the low ratio of deceased donors, living donors are crucial to reduce the size of the transplant waiting list. However, finding compatible donors is also a very challenging aspect. Kidney exchange programs (KEPs), implemented in several countries, address this issue by matching incompatible donor-recipient pairs ensuring each recipient receives a suitable kidney through a kidney exchange. Many of these KEPs use optimization algorithms to obtain matches by identifying cycles and chains of potential transplants. Nevertheless, not all of them can proceed due to potential failures, which may occur for a variety of reasons such as withdrawing from the program due to a health deterioration of patients or donors, or for logistics reasons. Another important aspect to consider when matches are determined is "fairness", recognizing that it is also a priority to allocate kidneys to those who need them the most or with limited opportunities for transplantation such as highly-sensitized patients. In this work, we present a mathematical model to obtain the maximum number of potential transplants considering not only potential failures but also a fair allocation. In addition, considering the scale of the real-world problem, we propose a metaheuristic to solve large-size instances that cannot be solved efficiently with exact methods. We provide a comparative analysis of the trade-off between fairness and reliability on the solutions obtained by solving the model through an optimization solver and those obtained by applying the metaheuristic to Mexican case studies.

*Abstract ID 277 (Aula Magna, Wednesday 10:00-10:20)*

### Patient flow management in a complex hospital network through reinforcement learning

Matías De Geyter Messina\* (Department of Industrial and Systems Engineering, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile) [mdegeyter@uc.cl](mailto:mdegeyter@uc.cl) Jorge R Vera (Department of Industrial and Systems Engineering, School of Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile)

Decision-making in healthcare is a complex problem due to its inherent uncertainty and dynamic nature, particularly concerning patient admissions across a network of hospitals. This research addresses these challenges by examining an integrated approach that considers the collective capacity of various hospital units, allowing for both admissions and inter-hospital patient transfers. We have formulated this dynamic decision problem as a Markov Decision Process and tackled it using a Reinforcement Learning (RL) framework, specifically using the Q-learning algorithm. The expected future cost is estimated using an XGBoost model, and simulation techniques supplement the approach. The results from our RL strategy have been translated into straightforward, practical managerial guidelines for hospitals. Preliminary computational experience on a network of three hospitals using synthetic data has shown promising outcomes. There is a notable reduction in average service time by 13%, a 66% decrease in waiting list sizes, and a 71% reduction in total costs compared to the baseline scenario, where decisions are made with myopic criteria. Additionally, the social costs associated with waiting times and patient bed opportunity costs are reduced by 87%. These findings highlight the potential of advanced analytical techniques to enhance hospital operations and patient care significantly.

## 6.35 Metaheuristics1

Room: Auditorio Santander Sur, Wednesday 14:00-15:30  
Session chair: Bryan F Salcedo

Abstract ID 119 (Auditorio Santander Sur, Wednesday 14:00-14:20)

### Evaluating the effect of clustering elite configurations in irace

Nicolas Rojas-Morales\* (Universidad Técnica Federico Santa María) [nicolas.rojasm@usm.cl](mailto:nicolas.rojasm@usm.cl) Diana P Gil (UTFSM); Nicolas Rojas-Morales (Universidad Técnica Federico Santa María)\*; Thomas Stützle (Université Libre de Bruxelles); Leslie-Angelica-Perez Caceres

Metaheuristic algorithms must be applied using adequate parameter settings, as their performance drastically depends on parameter values. The irace configurator is a well-known algorithm configuration method that effectively uses the available computational resources to search for suitable parameter values. However, irace can suffer from premature convergence, sampling, and evaluating similar parameter configurations, thus reducing the parameter space exploration. Furthermore, premature convergence may not allow irace to find a good generalizing configuration when configuring heterogeneous scenarios. This work proposes a strategy to increase irace's exploration, avoiding early stagnation using clustering algorithms. The idea is to group elite configurations to select parent configurations from these groups, influencing the sampling of new configurations. We propose integrating two clustering algorithms for numerical parameters: grid-based clustering (g-irace) and k-medoids clustering (k-irace). G-irace defines a set of clusters based on the parameter values considering a specified number of partitions per parameter. K-irace builds a fixed number of clusters using an Euclidian distance measure. We evaluate our proposal configuring an Ant Colony Optimization (ACO) framework in a homogeneous (TSP instances with 2000 cities) and a heterogeneous scenario (QAP instances with two sparsity levels). We evaluate the clusterization of two parameters: number of ants and rho. Results show that including our strategy increases the exploration level over these parameters, reaching configurations that are

structurally different but have scenario-dependent performance trade-offs. For ACOTSP, k-irace reaches the highest-quality configurations when the evaluation budget is increased (in the best-found configuration per execution and the average of all the final configurations). In ACOQAP, k-irace obtains the best quality configurations, but irace outperforms our strategies on average.

Abstract ID 120 (Auditorio Santander Sur, Wednesday 14:20-14:40)

### Analyzing the Parameter Search Process of Evolutionary Calibrator using Search Trajectory Networks

Nicolas Rojas-Morales\* (Universidad Técnica Federico Santa María) [nicolas.rojasm@usm.cl](mailto:nicolas.rojasm@usm.cl) Elizabeth Montero (Universidad Técnica Federico Santa María); Gabriela Ochoa (University of Stirling)

Understanding the search performed by heuristic processes is an interesting topic when focused on improving the quality of solutions found by these search methods. It is even more interesting when these methods are applied to the search of parameter values for metaheuristic algorithms. The process of setting proper parameter values for metaheuristic processes solving optimization problems is usually named tuning processes. When tuning parameters, two additional difficulties must be considered during the search process: (a) the stochastic nature of metaheuristic algorithms and (b) the need for these to solve problem instances with different features and sizes. We are interested in understanding tuning process features using the Search Trajectory Networks (STNs) approach. In an STN, a network of search processes is constructed based on the solutions visited during the process and the sequences on which these visits are performed. This proposal extends the definitions of Search Trajectory Networks to tuning processes using the Evolutionary Calibrator (Evoca) tuning method. Evoca is an evolutionary-based tuning algorithm that evolves a population of parameter configurations using a crossover and a mutation operator. Here, we analyze the influence of different STN location sizes and the effect of Evoca's main hyper-parameter: the population size. We use a Genetic Algorithm proposed for solving NK-landscapes as the target algorithm with three parameters. Our conclusions have practical implications for the tuning process of metaheuristic algorithms. We conclude that larger Evoca population sizes lead to better space coverage, demonstrating larger trajectories and a higher number of paths to local optima parameter configurations. Additionally, larger locations describe more connected networks and further paths to local optima configurations. For future work, we will extend our proposal to other tuners and apply it to tuning a target algorithm with more parameters.

Abstract ID 226 (Auditorio Santander Sur, Wednesday 14:40-15:00)

### Understanding Ant Colony Optimization Search through Local Optima Networks

Nicolas Rojas-Morales\* (Universidad Técnica Federico Santa María) [nicolas.rojasm@usm.cl](mailto:nicolas.rojasm@usm.cl) Nicolas Rojas-Morales (Universidad Técnica Federico Santa María)\*; Elizabeth Montero (Universidad Técnica Federico Santa María); Gabriela Ochoa (University of Stirling)

Local Optima Networks (LON) are tools for understanding the search spaces defined by hard optimization problems traversed by optimization algorithms. LONs model the search space in terms of nodes (locally optimal solutions) and edges (search transitions) between them. We propose to extend the definition of LONs to describe the fitness landscape defined by Ant Colony Optimization (ACO) algorithms. We aim to understand the structure of the generated networks and how these networks display the exploration and exploitation behavior produced by the collective learning process defined by the pheromone mechanism of ACO algorithms. Our proposal incorporates a network edges definition that expresses the persistence of the pheromone in-

fluence in the search process. Also, we introduce two types of nodes, the solutions used to bias the search by depositing pheromones (deposit nodes) and the solutions not used in the deposit (exploration nodes). We study the LONs of a Max-Min Ant System (MMAS) algorithm coupled with a Lin-Kernighan local search procedure to solve the Traveling Salesman Problem (TSP). We study 20 TSP instances classified as randomly uniform and randomly clustered (using DIMACS), somewhat structured (city problems), and highly structured instances (drilling problems). The comparative analysis of the networks showed that they exhibit features that describe the ACO's exploration/exploitation balance, reflecting the explorative behavior of the MMAS. The obtained networks have an average small percentage of deposit nodes (nearly 1% of the total visited nodes). Moreover, exploration nodes were only observed in instances with a high neutrality value. Higher pheromone persistence levels allow us to observe highly connected networks, higher neutrality, and an increment of outgoing edges to worsening quality nodes. In this sense, most of the pheromone knowledge constructed and used during the ACO search process comes from the elite solutions kept during the iterations.

*Abstract ID 365 (Auditorio Santander Sur, Wednesday 15:00-15:20)*

### Una Metaheurística Híbrida Aplicada al Problema de Contaminación de Ruteo con Flota Heterogénea y Velocidades Discretas

Bryan F Salcedo\* (Universidad Pontificia Bolivariana)

[Bryansalcedo09@gmail.com](mailto:Bryansalcedo09@gmail.com) Daniel Morillo-Torres

(Pontificia Universidad Javeriana Cali)

El sector transporte es uno de los principales responsables de la contaminación atmosférica, representando alrededor del 21% de las emisiones mundiales de carbono. Tomando en cuenta esta preocupación mundial, este documento estudia una extensión de flota heterogénea del Problema de Contaminación de Ruteo de Vehículos (PRP). El problema consiste en el enrutamiento de una flota fija de vehículos de diferentes capacidades, para entregar la mercancía requerida por un conjunto de clientes. De tal forma, se busca reducir los costos asociados al transporte y la emisión de gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el monóxido de carbono (CO), dadas las afectaciones en la salud humana. A pesar del aumento en las investigaciones acerca del PRP en los últimos años, no todas contemplan la extensión de flota heterogénea, velocidad discretizada, capacidad de los vehículos, ventanas de tiempo e inclinación de las rutas de esta investigación. Además, se propone una metodología de solución novedosa mediante una metaheurística híbrida de Búsqueda Tabú y Búsqueda de Vecindad Variable. Finalmente, los resultados computacionales, con diferentes tamaños de instancias, confirman la eficiencia y eficacia del algoritmo.

## 6.36 Ports2

*Room: Central12, Wednesday 14:00-15:10*

Session chair: Rosa G González Ramírez

*Abstract ID 334 (Central12, Wednesday 14:00-14:20)*

### Aplicación de la metaheurística Puma Optimizer (PO) en el software FlexSim para resolver problemas de asignación de atraques en puertos a granel.

Johander J Beltran \* (Universidad del Atlántico)

[jjbeltran@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:jjbeltran@mail.uniatlantico.edu.co) Daniel Mendoza

(Universidad del Atlántico)

Este estudio presenta una aproximación innovadora al problema de asignación de atraques (BAP) en puertos de graneles, con el objetivo de asignar de manera eficiente los buques a las posiciones de las terminales portuarias para minimizar los costos derivados de las penali-

zaciones por exceder el tiempo de inactividad (Laydays) pactado en el contrato de fletamento. Tradicionalmente, la asignación de atraques se ha gestionado mediante heurísticas simples, lo que puede resultar en operaciones portuarias poco eficientes. En esta investigación, se propone combinar la metaheurística Puma Optimizer (PO) con un modelo de simulación desarrollado en el software FlexSim 2024, para no solo mejorar la programación de las terminales respecto a los métodos tradicionalmente usados mediante la metaheurística, sino también para incluir la incertidumbre típica de las operaciones portuarias que pueden influir en la asignación por medio de la simulación. Este enfoque permite considerar variables adicionales, como el mantenimiento de equipos, en la resolución del problema. Utilizando datos de un puerto de graneles en Colombia, se desarrolló un modelo en FlexSim que integra la metaheurística PO programada en Python, facilitando la interacción entre ambos software. Se anticipa que al concluir la investigación, se obtendrán resultados favorables con la aplicación de la metaheurística PO, la cual ha demostrado, según diferentes artículos, superar el desempeño de otras metaheurísticas.

*Abstract ID 265 (Central12, Wednesday 14:20-14:40)*

### Aplicación de la Metaheurística Biased Random Key Genetic Algorithm (BRKA) en Flexsim para resolver Problemas de Asignación de Atraques en puertos a granel.

Elizabeth Martinez Diaz\* (Universidad del Atlántico)

[emartinezd@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:emartinezd@mail.uniatlantico.edu.co) Daniel Mendoza

Caceres (Universidad del Atlántico)

Esta investigación aborda el problema de asignación de atraque (BAP) en puertos a granel para encontrar una asignación de buques en las posiciones de las terminales portuarias. Tradicionalmente, el BAP busca minimizar retrasos o costos del operador del puerto. Este estudio propone la minimización de los costos de penalización por laydays, es decir, aquellas indemnizaciones que paga el administrador del puerto al propietario del buque cuando excede el tiempo de inactividad pactado originalmente en el contrato de fletamento. El objetivo consiste en aplicar la metaheurística Biased Random Key Genetic Algorithm (BRKA) en un modelo de simulación utilizando el software FlexSim 2024 para encontrar no solo una mejor programación de las terminales minimizando los laydays, sino también incorporar factores de incertidumbre propios de los procesos portuarios como el mantenimiento de equipos, entre otros. Se desarrolla un modelo en el software de simulación FlexSim incorporando la metaheurística BRKA programada en Python por medio de una conexión entre ambos softwares. Basado en los datos de un puerto a granel ubicado en Colombia, se encontraron resultados preliminares al incorporar la programación actual del puerto en Flexsim, por lo que se esperaría que al finalizar la investigación en curso se logre comprobar la mejoría en los resultados utilizando la metaheurística BRKA como una alternativa de solución ante el problema BAP en el puerto a granel evaluado.

*Abstract ID 202 (Central12, Wednesday 14:40-15:00)*

### Multi-objective math-heuristic for container shipping planning

Enrique Gabriel E.G. Baquela\* (Universidad Tecnológica

Nacional) [ebaquela@frsn.utn.edu.ar](mailto:ebaquela@frsn.utn.edu.ar) Enrique Gabriel E.G.

Baquela (Universidad Tecnológica Nacional)\*; José Ernesto

Valentini (Universidad Tecnológica Nacional)

Container-based maritime transportation presents a complex decision-making landscape, particularly in the areas of goods consolidation and container shipping. The challenge lies in obtaining a balance between delivery times and costs: expedited deliveries often necessitate dispatching partially filled containers, thereby escalating costs. This complexity underscores the importance of decisions such as whether to send goods directly to their destination immediately, wait at the origin port to consolidate more goods and fill the container, or send the container to an intermediate port to achieve fuller loads. This paper proposes a hybrid heuristic approach that combines the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) and

a Mixed-Integer Linear Programming (MILP) model to approximate the Pareto Frontier of the time-cost trade-off in container shipping. By integrating these methodologies, we aim to provide a comprehensive framework that helps decision-makers understand and navigate the trade-offs between delivery time and shipping costs, ultimately enabling more efficient and cost-effective maritime transportation solutions.

## 6.37 Project Planning1

Room: Central14, Wednesday 14:00-15:30

Session chair: Nancy M. Arratia Martinez

Abstract ID 349 (Central14, Wednesday 14:00-14:20)

### Una Nueva Medida de Robustez Basada en la Entropía para la Solución del Problema de Programación de Actividades con Recursos Restringidos y Duraciones Estocásticas

*María V Gutierrez-Padilla\** (Pontificia Universidad Javeriana Cali) [magutierrez4@javerianacali.edu.co](mailto:magutierrez4@javerianacali.edu.co) Daniel Morillo-Torres (Pontificia Universidad Javeriana Cali); John Wilmer Escobar (Universidad del Valle)

El Resource-Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP) es uno de los problemas más relevantes en la investigación operativa debido a su aplicabilidad a diversos campos y su complejidad NP-hard. El RCPSP busca secuenciar las actividades de un proyecto para minimizar el tiempo de ejecución (makespan), considerando duraciones, relaciones de precedencia y uso de recursos. En entornos reales, las duraciones de las actividades pueden variar, dando lugar al RCPSP bajo incertidumbre. Entre los enfoques propuestos para abordar el RCPSP destaca la programación robusta, que busca una programación base capaz de absorber perturbaciones a través de holguras. Para evaluar la robustez de una solución, se han desarrollado indicadores conocidos como medidas de robustez, aunque su eficacia es limitada ya que no siempre consideran la estructura y el estado operativo del problema simultáneamente. Este proyecto presenta tres contribuciones: a) diseño de una metodología para generar casos de prueba con duraciones estocásticas basados en perfiles realistas de riesgo; b) se define una nueva medida de robustez adaptada de sistemas eléctricos, utilizando una función lineal por partes para evaluar la importancia de las holguras de cada actividad, considerando el grado de cumplimiento de la holgura esperada; y c) diseño de una metaheurística evolutiva teniendo en cuenta el componente estocástico y la medida de robustez. Los resultados obtenidos revelan que las soluciones más robustas no siempre son aquellas con mayor holgura en el sistema. Además, la robustez de una programación depende de la secuenciación y de la relevancia de ciertas actividades; evitando valores extremos en las holguras que podrían ser insuficientes o generar desperdicio de recursos. Finalmente, se observó que las soluciones más robustas no siempre presentan un alto makespan, sugiriendo que es posible obtener soluciones robustas sin incrementar significativamente la duración del proyecto.

Abstract ID 341 (Central14, Wednesday 14:20-14:40)

### Multiple Team Formation Problem with Multiple Skills: a genetic approach

*Tatiane Fernandes Figueiredo\** (Federal University of Ceara) [tatianefernandes@ufc.br](mailto:tatianefernandes@ufc.br) Marília do Carmo (Federal University of Ceara)

To meet market demands and enhance competitiveness, companies have invested in work teams. Unlike before, when tasks were handled individually, now people are grouped into teams for scalability reasons in development products. Effective team management is important, since one of the most relevant operational expenses in projects is personnel recruitment and training issues. In this context,

in addition to the skills required of each person, social relationships between team members take an indispensable role that directly impacts the team's productivity, increasing the success rates of the work carried out. Although work teams have been extensively studied by social researchers, it was not until 2009 that the Team Formation Problem (TFP) was formally defined in OR literature. Similar to many other optimization problems, the TFP was proven to be NP-Hard (for single team instances). Subsequently, the Multiple Team Formation Problem (MTFP) was introduced, expanding the TFP with two new dimensions: the possibility of multiple teams and the use of time fraction work for each person, considering the constraint that each person has only one skill. Additionally, another study proposed the possibility of using multiple skills by each person, resulting in the Sociotechnical Team Formation Problem (STFP) that does not consider the fraction of work time. In this work, we solve the MTFP through a metaheuristic based on genetic algorithms, considering also individuals with multiple skills. For this, we employ max-flow algorithms for population creation and genetic operator handling. We present computational experiments performed on a set of instances from literature attest both the effectiveness and efficiency of our algorithm when compared to the heuristic algorithms proposed for resolution of the STFP and original MTFP. Finally, a new set of instances is presented, considering the multiple skills concept, as well analysis of the results obtained by the algorithm.

Abstract ID 233 (Central14, Wednesday 14:40-15:00)

### Algoritmo matheurístico para resolver el problema de programación de proyectos con restricciones de recursos y múltiples modos (MRCPSP) utilizando técnicas de relajación y descomposición

*Alfredo S Ramos\** (Universidad Panamericana) [asramos@up.edu.mx](mailto:asramos@up.edu.mx) Pablo A. Miranda-Gonzalez (Universidad Católica del Norte); Elias Olivares-Benitez (Universidad Panamericana); Abraham Mendoza Andrade (Universidad Panamericana)

El problema de programación de proyectos con restricciones de recursos y múltiples modos (MRCPSP) es un problema de optimización que consiste en programar las actividades de un proyecto, sujeto a restricciones de precedencias y de recursos. Cada actividad tiene una duración y un consumo de recursos que dependen de su modo de ejecución. A menor duración, mayor consumo de recursos. Los recursos pueden ser renovables o no renovables. La solución del problema consiste en seleccionar el modo de ejecución y los tiempos de inicio o fin de cada actividad minimizando la duración total del proyecto. El MRCPSP es un problema de complejidad NP-Duro, y en algunos casos NP-Completo, por lo que es conveniente proponer métodos alternativos para resolver instancias grandes. Esta investigación propone un algoritmo matheurístico para resolver el MRCPSP. Se plantea un modelo matemático con dos conjuntos de variables de decisión:  $x_{im}$  para seleccionar el modo de ejecución de la actividad  $i$ , y  $x_{it}$  para seleccionar el tiempo de finalización de la actividad  $i$ , en vez del modelo tradicional de una sola variable  $x_{imt}$  para seleccionar el modo de ejecución y el tiempo de finalización de la actividad  $i$ ; se realiza una relajación lineal parcial, y se aplica un método que combina descomposición de Benders con métodos heurísticos y métodos exactos. Tres variaciones algorítmicas fueron planteadas y evaluadas. Para ello se resolvieron instancias de prueba obtenidas de librerías en línea con 30, 50 y 100 actividades por proyecto. Las tres variaciones del método brindaron soluciones de buena calidad en tiempos computacionales significativamente menores que los requeridos por el método exacto.

Abstract ID 372 (Central14, Wednesday 15:00-15:20)

### Fairness on resource allocation for project selection

*Nancy M. Arratia Martínez\** (Universidad de las Américas Puebla) [nancyamtz@gmail.com](mailto:nancyamtz@gmail.com)

The selection of research and development (RD) projects funded by public institutions poses a significant challenge for governmental or-

ganizations. It involves choosing a subset of projects and allocating resources, typically aimed at addressing priority issues and strategic objectives. While extensively studied under conditions of full funding, this research explores the condition of resource allocation to RD projects when partial funding is allowed. In this context, poor decision-making can lead to imbalanced outcomes, especially when resources are shared among multiple interested agents. Therefore, achieving a fair allocation becomes imperative. This research proposes a mixed integer linear programming model for the project selection and scheduling problem under a fair resource allocation. This study includes discussion of different conceptualizations of what is meant by a fair allocation of resources. A review of existing methods for measuring allocative fairness and mixed-integer linear programming models that incorporate related policies for project decisions is also presented. A novel mathematical model based on a measure of individual fairness. Specifically, the allocation is considered as a fraction over the allowed limits for each project. The effectiveness of these models is evaluated through a set of instances. Results demonstrating the impact of applying fairness policies are presented, and potential avenues for future research are identified.

## 6.38 Healthcare5

Room: Aula Magna, Wednesday 16:00-17:30

Session chair: Elena Valentina Gutiérrez

Abstract ID 260 (Aula Magna, Wednesday 16:00-16:20)

### Estudio del proceso de vacunación contra la COVID-19 en Colombia: Una aproximación usando Análisis Envoltante de Datos.

David Barrera Ferro\* (Pontificia Universidad Javeriana)  
[barrera-o@javeriana.edu.co](mailto:barrera-o@javeriana.edu.co) Santiago Ospina Ferreira  
 (Pontificia Universidad Javeriana); Nubia Velasco  
 (Universidad de los Andes)

La Covid-19 generó presiones extremas en los sistemas de salud alrededor del mundo. Muchos servicios debieron interrumpirse y otros ajustarse para trabajar por encima de su capacidad. En particular, poner en funcionamiento sistemas de vacunación masiva enfrentando presión de tiempo y desinformación respecto a la seguridad de las vacunas, representó un reto para los gestores del sistema. En este trabajo, usamos Análisis Envoltante de Datos como un mecanismo para aprender del proceso de vacunación en Colombia. Analizamos información mensual, del número de vacunas administradas y disponibles, el número de centros de vacunación y los indicadores de cobertura. Con este propósito, definimos como unidad tomadora de decisión a los 32 entes territoriales en los que está dividido el país. La estimación de la eficiencia relativa nos permitió identificar las dinámicas generadas por diferentes políticas a lo largo de un año. Finalmente, discutimos los aprendizajes que pueden ser usados en futuros procesos de vacunación masiva.

Abstract ID 57 (Aula Magna, Wednesday 16:20-16:40)

### Aproximación metodológica para la estimación del costo de tratamiento de pacientes con Dengue según el nivel de riesgo aplicando algoritmos basados en signos y síntomas

Jennyfer Portilla Yela\* (Universidad del Valle)  
[jennyfer.portilla@correounivalle.edu.co](mailto:jennyfer.portilla@correounivalle.edu.co) Diego Manotas  
 (Universidad del valle); José Tovar Cuevas (Universidad del Valle)

El dengue es una enfermedad viral transmitida por la picadura de mosquitos infectados (OMS, 2022), la cual presenta desafíos significativos para su diagnóstico y manejo clínico debido a la amplia gama de manifestaciones que abarca (Guzman et al., 2010). Detectarlo requiere pruebas de laboratorio que demandan tecnología avanzada,

tiempo y personal capacitado (Zhang et al., 2015). En algunos entornos clínicos con recursos limitados, la disponibilidad y precisión de estas pruebas pueden ser insuficientes o incluso inexistentes. En respuesta a esta situación, en Colombia, autores como Caicedo et al. (2019, 2020); Tovar et al. (2022), han propuesto el desarrollo de algoritmos de diagnóstico basados en el reporte de signos y síntomas clínicos de individuos con fiebre. Estos algoritmos pueden ser vitales para ayudar a los profesionales de la salud en la toma de decisiones sobre el estado de salud del paciente. El dengue no solo causa un considerable impacto en la salud de las poblaciones afectadas, sino también en los sistemas de atención médica y en la economía de los países donde es endémico. En este trabajo se propone una aproximación metodológica para estimar el costo del tratamiento, considerando el nivel de riesgo al utilizar algoritmos de clasificación de pacientes basados en signos y/o síntomas. Este es un primer paso hacia un proceso de análisis costo-efectividad para la implementación de los algoritmos en el sistema de salud. La estimación de costos se llevará a cabo en tres etapas: Identificando las diferentes alternativas de tratamientos y manejo que pueden ocurrir en la atención de un paciente con síntomas sugestivos de dengue; Identificando las fuentes de costos asociados en términos de valoración médica, laboratorios, medicamentos, ayudas diagnósticas necesarios para la implementación de los algoritmos y calculando los costos basados en manuales tarifarios como el SOAT, el ISS 2001 y otras fuentes.

Abstract ID 97 (Aula Magna, Wednesday 16:40-17:00)

### Modelo de inteligencia de negocios para la toma de decisiones informadas en servicios de atención médica domiciliaria

Jennifer Benavides Castillo\* (Universidad del Valle)  
[jennifer.benavides@correounivalle.edu.co](mailto:jennifer.benavides@correounivalle.edu.co) Elena Valentina  
 Gutiérrez (Universidad del Valle); Robert H Caicedo  
 (Universidad del Valle)

En el sector de atención médica domiciliaria, la toma de decisiones informadas y el entendimiento de métricas de desempeño son cruciales. Sin embargo, desafíos como la diversidad y falta de integración de datos, discrepancias entre procedimientos documentados y realidad operativa, y predominio de ejecuciones manuales sobre procesos tecnológicos estandarizados destacan la necesidad de herramientas de inteligencia de negocios para decisiones oportunas. Este trabajo aborda estas oportunidades en una institución caso de estudio en Colombia, desarrollando un modelo de inteligencia de negocios que inicia con la comprensión de la cadena logística a través de flujogramas basados en conceptos de la cadena de suministro, seguido de la identificación y recopilación de datos operativos clave mediante un proceso de ETL para la centralización de la información. Los datos transformados se estructuran para ser visualizados de manera clara, mostrando indicadores y métricas relevantes que apoyan la toma de decisiones estratégicas y operativas. El propósito del modelo se centra en fortalecer el proceso de toma de decisiones acertadas proporcionando información rápida, completa y comprensible a los tomadores de decisiones que permita optimizar la asignación de recursos y mejorar la calidad de la atención. Esta contribución resulta fundamental en un contexto donde la demanda de servicios de atención médica domiciliaria está creciendo constantemente, lo que hace que la analítica y la inteligencia de negocios sean necesarias para su uso estratégico. Se recomienda además fortalecer los procesos de cadena de suministro con herramientas tecnológicas adicionales, como un sistema CRM integrador para gestionar la información de clientes de múltiples canales. Este enfoque integral en mejorar tecnologías y procesos preparará mejor a la institución para enfrentar desafíos operativos y estratégicos en el sector de atención médica domiciliaria.

Abstract ID 78 (Aula Magna, Wednesday 17:00-17:20)

### Data analytics to support logistics decisions in home health care services

Elena Valentina Gutiérrez\* (Universidad del Valle)  
[valentina.gutierrez@correounivalle.edu.co](mailto:valentina.gutierrez@correounivalle.edu.co) Jennifer

Benavides Castillo (Universidad del Valle); Robert H Caicedo (Universidad del Valle)

In home health care (HHC) services, patients receive coordinated medical care at their homes and HHC providers face challenging planning decisions to provide healthcare effectively and efficiently. The increase in demand and healthcare expenditures has risen the pressure on HHC services worldwide, and HHC providers must comply with governmental, institutional, and medical requirements. When providing support systems for logistics planning decisions in HHC, multiple data sources are involved, non-structured databases are present, and thousands of registers are not standardized. In this work, we present the use of data analytics to support logistics decisions in HHC services. Based on a standard business intelligence model, we illustrate the implementation of descriptive and diagnostic analytics to provide a decision support system in key patient flow processes such as remission, admission, medical assignment, medical follow-up, and discharge. Additionally, we show how descriptive analytics is key to support prescriptive decisions regarding network design, routing, medical staff management, and inventory control. Our approach is evaluated with a real Colombian HHC institution responsible for more than 1800 patients per month. Preliminary results show how the integration of data analytics facilitates logistics decisions in a HHC setting.

## 6.39 Applications2

Room: CIAC2, Wednesday 16:00-17:10

Session chair: Guillermo Cabrera-Guerrero

Abstract ID 62 (CIAC2, Wednesday 16:00-16:20)

### Multi-issue problems with crossed claims: Water quality application

Rick K Acosta Vega\* (Universidad del Magdalena)  
[racosta@unimagdalena.edu.co](mailto:racosta@unimagdalena.edu.co) Manuel J. Campuzano  
 (Universidad del Magdalena); Nestor Caicedo Solano  
 (Universidad del Magdalena)

This article presents the proportional rule for the multi-issue bankruptcy problem with cross-claims, applied to a real water quality control problem. The article classifies water contaminants into three distinct groups, each of which contains several classifications of substances. The research proposes a methodology based on bankruptcy models to establish pollutant emission limits that cover multiple categories. The paper addresses a multi-issue allocation challenge with cross-claims and uses the restricted proportional allocations rule to determine emission limits. This rule is based on the principle of proportionality and expands on the proportional rule normally applied in bankruptcy issues. Furthermore, the article presents an axiomatic characterization of this rule. To illustrate its application, a numerical example is provided using real-world data.

Abstract ID 276 (CIAC2, Wednesday 16:20-16:40)

### Qualitative study of the Lorenz equation

Roberto Aimar Támara Chávez\* (UNASAM)  
[rtamarac@unasam.edu.pe](mailto:rtamarac@unasam.edu.pe)

The objective of this research was the qualitative analysis of the Lorenz equation and the visualization of the solution curves. For this purpose, the equilibrium points of the Lorenz system and the type of stability of these points for different values of the parameters were determined using Linearization Analysis, the Liapunov Direct Method and the Krasovski Method; in addition, a program was developed to graph the solution curves. It was concluded that the origin is always an equilibrium point, when the Rayleigh number is greater than one there are two other equilibrium points; the origin is asymptotically stable when this number is less than one and unstable when it is greater than one, the other two equilibrium points are asymptotically stable when the Rayleigh number verifies a certain inequality; On the

other hand, if there exists a neighborhood of the origin whose points verify a system of two inequalities, then the origin is asymptotically stable; finally, when the Prandtl number, the proportionality constant and the Rayleigh number are equal to 10, 28 and 8/3, respectively, then the graph of the curve has a complex but not chaotic behavior.

Abstract ID 344 (CIAC2, Wednesday 16:40-17:00)

### Multi-Objective Robust Optimisation for the Beam Angle Optimisation Problem in Radiation Therapy

Guillermo Cabrera-Guerrero\* (Pontificia Universidad Católica de Valparaíso) [guillermo.cabrera@pucv.cl](mailto:guillermo.cabrera@pucv.cl)  
 Sebastian Muñoz (PUCV); Mauricio Moyano (PUCV);  
 Carolina Lagos (PUCV); Maria Ignacia Morales (PUCV)

Radiation therapy, particularly intensity-modulated radiation Therapy (IMRT), is one of the most common techniques for treating cancer. The Beam Angoe Optimization (BAO) problem focuses on selecting the sub-set of beam angles from which radiation will be delivered to maximize tumour dose while minimizing exposure to healthy tissues. Traditional approaches often address single objectives, but real-world scenarios require balancing conflicting objectives and accounting for patient positioning and tissue characteristics uncertainties. Multi-objective optimisation (MOO) in BAO aims to balance objectives such as maximizing tumour dose, minimizing dose to critical organs, and reducing treatment time. Further, robust optimisation ensures these plans remain effective under uncertainties like patient movement and anatomical changes. In this work, we integrate MOO and robust optimization in BAO by using a Local Search Strategy that considers multiple objectives and scenarios. We try our algorithm in several clinical cases, and our preliminary results show that these techniques improve tumour coverage and reduce exposure to critical organs, offering better outcomes compared to traditional methods. Our problem's computational challenges are addressed through parallel computing and a hybrid approach that combines metaheuristics with mathematical programming. Future directions include developing adaptive optimization algorithms, integrating machine learning for better uncertainty modelling, translating research into clinical practice through user-friendly tools, and fostering collaborations to address practical implementation challenges.

## 6.40 Premio Tesis SMIO Doctorado

Room: Aula Panamericana, Wednesday 16:00-17:40

Session chair: Adrián Ramírez Nafarrete

Abstract ID 388 (Aula Panamericana, Wednesday 16:00-16:30)

### Un problema bi-nivel de cierre de instalaciones competitivas: Alternativas de modelación y solución

Juan Carlos García Vélez\* (Universidad Autónoma de Nuevo León) [charly.fcfm@gmail.com](mailto:charly.fcfm@gmail.com)

En esta tesis se exploran enfoques de modelación y solución para un problema de cierre de instalaciones competitivas, modelado con programación bi-nivel. Se tiene una situación donde dos empresas que ofrecen servicios a un conjunto de clientes compiten y deben cerrar algunas de sus instalaciones operativas debido a dificultades financieras. Estas dificultades pueden haber surgido, por ejemplo, por la pandemia del COVID-19, que redujo la demanda de servicios o porque las empresas cerraron instalaciones para evitar la propagación del virus. Dada la naturaleza de ambas empresas y su posicionamiento en el mercado, existe una jerarquía entre ellas. Al tomar decisiones

sobre qué instalaciones cerrar, las empresas deben considerar las posibles acciones del rival y la reacción de los clientes. Este problema es llamado el problema  $(r|p)^L - Centroide$ , donde en el nivel superior la empresa líder decide cuáles de sus instalaciones cerrar, y en el nivel inferior, la empresa seguidora hace lo mismo con sus propias instalaciones. El símbolo L indica que la asignación de los clientes se basa en un radio de lealtad, en lugar de la distancia mínima. Para resolver el problema, se desarrollaron dos metaheurísticas: un procedimiento de búsqueda voraz adaptativo y aleatorizado (GRASP) y una versión híbrida que combina GRASP con búsqueda tabú (TS), denominada GRASP-TS. Se evaluó el desempeño de ambos métodos usando un conjunto de instancias de prueba, y se compararon las soluciones obtenidas con soluciones óptimas, obtenidas mediante un algoritmo genérico para problemas bi-nivel entero-mixto propuesto en la literatura. Los resultados mostraron que los métodos desarrollados ofrecen soluciones de buena calidad con menor esfuerzo computacional en comparación con el algoritmo exacto. Además, se incluye un modelo alternativo que considera las preferencias de los clientes, el cual reduce el número de variables y restricciones, mejorando así el tiempo de ejecución.

*Abstract ID 389 (Aula Panamericana, Wednesday 16:30-17:00)*

### Modelos y algoritmos de optimización en tiempo real de sistemas de transporte público basados en autobuses

*Citlali Maryuri Olvera Toscano\** (Universidad de Monterrey) [citlali.olvera@udem.edu](mailto:citlali.olvera@udem.edu)

El amontonamiento de autobuses es un desafío persistente en los sistemas de transporte urbano, impactando negativamente la experiencia de los usuarios al incrementar los tiempos de espera y de viaje. Este estudio se enfoca en un corredor lineal de autobuses con terminales en ambos extremos, operado con una flota fija con capacidad limitada y una velocidad promedio. El objetivo principal es regular la frecuencia de paso de los autobuses en cada estación, ajustando los tiempos de retención para mitigar el amontonamiento de autobuses. Para abordar este problema, se han desarrollado tres enfoques metodológicos clave: un modelo de programación entera con restricciones cuadráticas, un modelo de programación con restricciones y una heurística basada en un método de ramificación truncado ("beam search"). Estos métodos permiten ajustar los horarios de salida de los autobuses en tiempo real, minimizando los intervalos irregulares y mejorando la eficiencia operativa del sistema. La validez de los modelos propuestos fue comprobada a través de una simulación de eventos discretos, centrada en un sistema de autobuses de tránsito rápido (BRT). Los resultados mostraron una reducción del 45% en el amontonamiento de autobuses y una disminución de hasta un 30% en los tiempos de espera de los usuarios. Además, la heurística "beam search" demostró ser eficaz para obtener soluciones de alta calidad en tiempo real, con una desviación mínima del 5% respecto al óptimo. Este estudio ofrece una solución robusta y viable para mejorar la gestión de los sistemas de transporte público en tiempo real, proponiendo un enfoque que no solo mejora la eficiencia del servicio, sino que también optimiza la experiencia del usuario, posicionándose como una contribución significativa para la movilidad urbana.

*Abstract ID 390 (Aula Panamericana, Wednesday 17:00-17:30)*

### Inventory models for growing items in the presence of price-sensitive demand, incorporating imperfect quality, inspection errors, carbon emissions, and planned backorders

*Cynthia Griselle De La Cruz Márquez\** (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey) [Cynthia.delacruz@tec.mx](mailto:Cynthia.delacruz@tec.mx)

Growing items have become crucial in inventory modeling due to their unique ability to grow during replenishment cycles. These items, such as farm animals and plants, are vital for human consumption, providing proteins, vitamins, and minerals. They require nutrients to grow and are harvested once they reach a target weight, then stored in in-

ventory and depleted at a specific demand rate. Costs are incurred for feeding and maintaining these items during growth and storage. Inventory models have evolved to address specific needs, incorporating features like imperfect quality due to machine breakdowns and inspection errors. Companies must prepare for inventory shortages to maintain customer confidence. Reducing carbon emissions is also significant, contributing to climate change mitigation and cost savings, benefiting both the environment and business sustainability. Price-sensitive demand models are used when consumer prices fluctuate, boosting demand when prices drop. These models also consider item mortality. The combination of these factors enhances the understanding of inventory theory for growing items. This thesis aims to progressively develop these inventory models: an inventory model for growing items with imperfect quality when the demand is price sensitive under carbon emissions and shortages; an inventory model in a three-echelon supply chain for growing items with imperfect quality, mortality, and shortages under carbon emissions when the demand is price sensitive; and an inventory model for growing items when the demand is price sensitive with imperfect quality, inspection errors, carbon emissions, and planned backorders. These models determine optimal solutions for selling price, backordering quantity, order quantity, and shipment number to maximize expected total profit per unit of time. Sensitivity analyses and numerical examples illustrate the models applicability, guiding procurement and inventory managers in industries storing growing items.

## 6.41 Public Services I

*Room: G32, Thursday 09:00-10:30*

Session chair: Héctor Cancela

*Abstract ID 110 (G32, Thursday 09:00-09:20)*

### Optimizing a City's Urban Park Lighting using Monkey Algorithm

*Rafael Torres-Escobar\** (Universidad Anáhuac México) [rafael.torrese@anahuac.mx](mailto:rafael.torrese@anahuac.mx) Dorey Orozco-Paz (Universidad Anáhuac México); Emilio Batres-Guillén (Universidad Anáhuac México)

Mexico City stands as one of the world's most densely populated metropolises, thereby boasting several recreational areas for its residents, notably, its urban parks. Due to the nocturnal lifestyle that some visitors engage in, parks have found it necessary to establish a lighting system. This should be set up in the best way possible, as poor placement and distribution can have serious consequences on the ecosystem and the social, physical, and mental health of humans. This not only ensures optimal safety conditions for those who enjoy these spaces, but also plays a critical role in the prevention of visual problems, falls, accidents, and the reduction of light pollution. The research employs the "Monkey Algorithm" to determine the appropriate quantity of luminaires to optimize both their placement and efficiency within the parks of Mexico City. An optimization technique inspired by the behavior of monkeys in searching for resources in their environment. It consists of three key steps: climbing process, watch-jump process, and somersault process. Different aspects such as the angle generated by the lamp's position, height, power consumption and light intensity are considered to achieve greater coverage area.

*Abstract ID 374 (G32, Thursday 09:20-09:40)*

### Solving a truck and trailer routing problem with matheuristics using approximate optimization algorithms and a mixed integer linear problem solver.

*Valentín H Schulz-Gonzalez\** (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco) [vectorschulz@gmail.com](mailto:vectorschulz@gmail.com) Ana Laura Piña Martínez (TecNM Instituto Tecnológico)

Superior de Huatusco); Cesar Jaime Monitel-Moctezuma (Instituto Mexicano del Transporte); Adán Cabal-Prieto (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco)

This work focuses on optimizing the routing of technicians in the reforestation program "Sembrando Vida" through the mathematical modeling of the Vehicle Routing Problem (VRP) and its specific adaptation, the Truck and Trailer Routing Problem (TTRP). It addresses the complexities of NP-hard problems like the VRP by constructing a model that handles various constraints such as daily working hours, service times, road types, and transport modes. The developed model captures essential elements, including travel times and the clustering of locations based on proximity and similarity in elevation. It employs several optimization techniques, using a K-means algorithm for location distribution, simulated annealing to improve routes iteratively within each cluster, and an exact algorithm to assign every cluster to a technician, aiming to balance their workloads. Integration with the Google Maps Platform API enhances the model with real-time data on road conditions, transportation modes, and travel time variations. This work highlights the theoretical and computational challenges of applying mathematical models to practical applications, demonstrating how advanced optimization techniques and real-world data can yield efficient and cost-effective routing solutions. It offers a valuable framework for researchers and practitioners in operations research, particularly in public social development programs.

*Abstract ID 244 (G32, Thursday 09:40-10:00)*

### Exploring Constraint Programming for Telecom Service Planning

Gabriela Sánchez-Yeppez\* (Universidad Autónoma de Nuevo León) [gabriela.sanchezypz@uanl.edu.mx](mailto:gabriela.sanchezypz@uanl.edu.mx) M. Angélica Salazar-Aguilar (Universidad Autónoma de Nuevo León); Vincent Boyer (Universidad autónoma de Nuevo León)

The telecom service planning problem presented in this work arises from a real-life situation faced by a Mexican telecommunications company. It involves the daily assignment of service orders to a set of available crews while ensuring balanced wages. Therefore, it requires finding the optimal assignments and schedules to complete the service orders, considering constraints such as workers' skills and workday's duration. In this talk, we will present a constraint programming model for the studied problem. We will discuss its performance after conducting extensive experiments over a large set of instances with diverse characteristics. Finally, we will compare the results with those obtained from a previously analyzed mixed-integer linear programming model.

*Abstract ID 36 (G32, Thursday 10:00-10:20)*

### Distribución de tareas administrativas para la inclusión de personas con discapacidad

Héctor Cancela\* (Universidad de la República) [cancela@fing.edu.uy](mailto:cancela@fing.edu.uy) Michele Blasiak (Universidad de la República); Julieta Oberti (Universidad de la República); Jimena Strechia (Universidad de la República); Patricia Quintana (Universidad de la República)

En este trabajo se aborda el problema de asignación de tareas administrativas para personas con discapacidad, aplicado al caso de estudio del Proyecto Pasantías Laborales dentro del Servicio de Atención a la Ciudadanía (SAC) en la Intendencia de Montevideo, Uruguay. La inclusión de personas con discapacidad en el ambiente laboral es un desafío desde el punto de vista físico, social, cultural y educativo. Implica adaptar los espacios físicos, mejorar la comunicación y forma de acceder a la información y herramientas necesarias para realizar las tareas, tener la flexibilidad necesaria para reinterpretarlas y generar un ambiente de respeto y aprendizaje continuo entre todas las partes. Durante este proyecto se trabajó de forma conjunta con la Secretaría de Discapacidad de la Intendencia de Montevideo, para realizar la asignación de un grupo de pasantes a tareas dentro del SAC. A partir de esta experiencia se sistematizó la tarea de asignación a través de

un modelo de programación matemática, incluyendo la definición de cuatro funciones objetivo, que pueden considerarse por separado o en conjunto. El modelo realizado es lo suficientemente flexible para contemplar distintas restricciones de los puestos de trabajo y aspectos deseables de la tarea, de forma tal que pueda ser extensible y aplicable a futuros escenarios. Los resultados obtenidos muestran que la asignación manual fue muy similar a la obtenida por el modelo cuando se considera la función objetivo que maximiza la prioridad de los pasantes. Sin embargo, la asignación obtenida con el modelo es de mejor calidad, porque mejora tanto las prioridades de los pasantes como los beneficios obtenidos con la asignación, medidos por la adecuación de las personas a las necesidades de cada puesto. La aplicación del modelo con varias funciones objetivo permite explorar soluciones de estructura diferente, ayudando a visualizar los compromisos entre los distintos actores involucrados y apoyar la toma de decisiones.

## 6.42 AI4AgroIB5

*Room: Auditorio Santander Norte, Thursday 14:00-15:30*

Session chair: Virna Ortiz-Araya

*Abstract ID 90 (Auditorio Santander Norte, Thursday 14:00-14:20)*

### Perspectivas y Desafíos en la Gestión de Cadenas de Suministro Agrícolas: Una Revisión Integral del Panorama Actual

Verónica Deibe Blanco\* (Universidad del Magdalena) [vdeibe@unimagdalena.edu.co](mailto:vdeibe@unimagdalena.edu.co) Manuel J. Campuzano (Universidad del Magdalena); Rick K Acosta Vega (Universidad del Magdalena)

La industria agroalimentaria ha reconocido y adoptado el concepto de cadena de suministro como concepto clave para su competitividad, por lo que el problema del diseño de la red de la cadena de suministro agroalimentaria, es un tema que se ha convertido de gran interés. Esta revisión examina la complejidad de las cadenas de suministro agrícolas, destacando factores como la globalización, la sostenibilidad, la tecnología y la seguridad alimentaria. Se analizan las tendencias emergentes, así como los obstáculos asociados al cambio climático y las regulaciones gubernamentales. Además, se exploran estrategias para optimizar la eficiencia y la resiliencia en estas cadenas, como la colaboración entre actores y la trazabilidad. Esta revisión proporciona una visión holística del estado actual de las cadenas de suministro agrícolas y destaca la importancia de abordar los desafíos para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad a largo plazo.

*Abstract ID 92 (Auditorio Santander Norte, Thursday 14:20-14:40)*

### Revisión Sistemática de Técnicas Cuantitativas para la Toma de Decisiones Sustentables en la Cadena de Suministros desde el Bosque a la Madera

Francisco P. Vergara\* (Universidad del Bio-Bío) [fvergara@ubiobio.cl](mailto:fvergara@ubiobio.cl) Jorge Mena-Reyes (Universidad del Bio-Bío); Rodrigo Linfati (Universidad del Bío-Bío)

La sustentabilidad está transformando a la Industria forestal, esta iniciativa analiza la investigación de los últimos 6 años en técnicas cuantitativas y las métricas aplicadas en la Cadena de Suministros desde el bosque la Madera (CSBM) que incluyen sustentabilidad en la toma de decisiones. La metodología PRISMA fue aplicada en una revisión bibliográfica de publicaciones de los últimos 6 años. Desde la base de datos Web of Science, 724 publicaciones científicas fueron revisadas, de las cuales 85 publicaciones fueron analizadas en base a los criterios de inclusión empleados. Un creciente interés por la sustentabilidad en las decisiones de la CSBM se evidencia. El bosque, aserraderos,

transporte y otras fueron las entidades consideradas. Modelos de programación matemática y de simulación son aplicados, registrándose un pico de publicaciones en el año 2019. Las técnicas de modelamiento se basan en: Programación Lineal, Simulación de Agentes, Programación Lineal y entera, Programación Estocástica, Programación Multiobjetivo, Metaheurísticas, Análisis de Regresión, Programación Multicriterio, Programación Dinámica, Sistemas SIG, Simulación de Eventos discretos, Investigación cualitativa basada en encuestas, Metodología Jerárquica de Análisis, Programación no-lineal, y Análisis del Ciclo de Vida. Los hallazgos subrayan la creciente importancia de integrar tecnologías cuantitativas de optimización en la toma de decisiones de la CSBM. Estas técnicas ofrecen oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y desempeñan un papel fundamental para abordar las dimensiones de sostenibilidad de la industria. Además, el estudio ha puesto de relieve que, si bien se hace cada vez más hincapié sobre métricas y metodologías de sostenibilidad, lo que refleja un cambio de paradigma hacia una visión holística, y prácticas ambientalmente conscientes dentro del sector forestal, se necesita más investigación para incluir la dimensión social en la toma de decisiones de la CSBM.

*Abstract ID 178 (Auditorio Santander Norte, Thursday 14:40-15:00)*

### Un modelo de inventario para artículos que crecen en una cadena de suministro de tres niveles

Cynthia Griselle De La Cruz Márquez\* (Tecnológico de Monterrey) [cynthia.delacruz@tec.mx](mailto:cynthia.delacruz@tec.mx) Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón (Tecnológico de Monterrey); Neale Ricardo Smith Cornejo (Tecnológico de Monterrey); Rafael Ernesto Bourguet Díaz (Tecnológico de Monterrey); Imelda de Jesús Loera Hernández (Tecnológico de Monterrey); Armando Céspedes-Mota (Tecnológico de Monterrey); Gerardo Treviño Garza (Tecnológico de Monterrey)

Este estudio presenta un modelo de inventarios para artículos en crecimiento para una cadena de suministro de tres niveles (agricultor, procesador y minorista). El modelo de inventarios considera la calidad imperfecta, la tasa de mortalidad, los faltantes y las emisiones de carbono. En la etapa de agricultor, se utiliza una función de densidad para representar la probabilidad de supervivencia y muerte de los artículos en crecimiento durante el período de alimentación. La calidad imperfecta ocurre en la etapa del minorista, donde factores como los defectos del producto se vuelven más pronunciados a lo largo de la cadena de suministro, afectando potencialmente la satisfacción del cliente. El modelo de inventario tiene como objetivo maximizar el beneficio total esperado para un tipo de artículo en crecimiento, teniendo en cuenta la demanda polinómica dependiente del precio. Se determinan los valores óptimos para la cantidad de pedidos, la cantidad de faltantes, el precio de venta y el número de envíos, maximizando así la ganancia total esperada. Se proporciona un ejemplo numérico para ilustrar la aplicación práctica del modelo inventarios. Se realiza un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto de cada parámetro de entrada en las variables de decisión. Se observa que los costos de mantenimiento en todas las etapas de la cadena de suministro influyen significativamente en el beneficio total. Este modelo de inventario se puede aplicar a diversos artículos en crecimiento, lo que facilita a los propietarios de granjas y cultivos optimizar la generación de ganancias con los recursos existentes. Palabras clave: Artículos en crecimiento, calidad imperfecta, mortalidad, faltantes, cadena de suministro

*Abstract ID 249 (Auditorio Santander Norte, Thursday 15:00-15:20)*

### Gestión de planificación agrícola para la cadena de suministro de pequeños productores considerando huella de carbono

Virna Ortiz-Araya\* (Universidad del Bío-Bío) [viortiz@ubiobio.cl](mailto:viortiz@ubiobio.cl) Adela Pagès-Bernaus (Universitat de

Lleida); Rodrigo Linfati (Universidad del Bío-Bío); Carlos Rozas (Universidad del Bío-Bío)

La cadena de suministro agrícola abarca diversas actividades y toma de decisiones relacionadas con la obtención de insumos agrícolas, el proceso de preparación del terreno, almacenamiento, procesado de alimentos, ventas a mayoristas, minoristas y consumidores. Desde algunos años, la sequía y la búsqueda por impactar menos el medio ambiente ha llevado a buscar estrategias de producción más limpias, enfocadas al uso de fertilizantes y abonos orgánicos. La elección de variedades de plantas que se adecuen más fácilmente a los cambios de temperatura y al uso restringido de agua es la tarea de los pequeños agricultores locales. La emisión de gases de efecto invernadero (GEI) afectan la producción agrícola, provocando un incremento en la temperatura, sequías, inundaciones y otros efectos adversos. Conocer las prácticas agrícolas en pequeños productores permite delimitar y establecer las orientaciones en términos de gestión de producción que los agricultores llevan a cabo. Los datos obtenidos a partir de visitas a terreno a predios agrícolas de la región de Ñuble y sus alrededores en Chile, muestra la carencia en la planificación y el mal uso de productos agrícolas en los cultivos. En consecuencia, este trabajo en una primera etapa, establece los eslabones de la cadena de suministro de hortalizas para pequeños productores permitiendo identificar las decisiones que se toman en cada una de ellas. En una segunda etapa, se emplea un modelo de programación lineal mixto-entero que involucra mediciones de huella de carbono y que permite determinar planes de producción. Los resultados muestran, por una parte, la optimización de los recursos y la distribución óptima de los predios para plantar. Así mismo, las mediciones de la huella de carbono establecen el nivel de contaminantes que presenta el grupo de estudio pudiendo delimitar medidas de mitigación para la obtención de productos más sanos y respetuosos con el medio ambiente.

## 6.43 Energy1

*Room: Aula Magna, Thursday 16:00-17:30*

Session chair: Oliver Avalos Rosales

*Abstract ID 183 (Aula Magna, Thursday 16:00-16:20)*

### Cooperación en materia de energía nuclear y energías renovables en el contexto de la planificación de la expansión de la generación y la transmisión

Rocío J Gajardo \* (Universidad de Santiago de Chile) [rocio.gajardo@usach.cl](mailto:rocio.gajardo@usach.cl) Fabián Fuentes González (Universidad de Santiago de Chile); Jorge Zamorano-Ford (USACH); Isabel F Triviño Ortega (Universidad de Santiago de Chile)

Este estudio presenta un método de optimización de planificación de expansión de generación y transmisión de múltiples niveles para analizar el impacto de los proyectos descentralizados de energía nuclear y renovable en la expansión del sistema eléctrico. Para ello, incorporamos un juego biforma de cuatro jugadores al clásico problema de planificación de expansión de generación y transmisión de energía. El modelo implica la cooperación y coordinación, a través de una planta de energía virtual, de varios generadores a micro y pequeña escala que utilizan fuentes y tecnologías nucleares, eólicas, solares fotovoltaicas e hidráulicas, es decir, diversos recursos energéticos distribuidos (DER). En el contexto de los juegos biformas, lo anterior representa la segunda etapa, cooperativa, que se resuelve a través del Core. Al mismo tiempo, estos DER compiten con grandes generadores que utilizan fuentes y tecnologías tanto de carbón como de gas natural, y actúan al estilo Cournot-Nash. En el contexto de los juegos biformas, esta competencia, reflejada por la entrada (o no) de los DER al negocio y la maximización de ganancias, representa la primera etapa, no cooperativa. Esto se resuelve mediante el equilibrio de Nash. El elemento constitutivo de nuestro método es entonces la formulación del programa matemático con restricciones de equilibrio

(MPEC). Nuestro enfoque tiene como objetivo informar el debate en curso sobre el papel de la energía nuclear (a pequeña escala) en la descarbonización y descentralización de los sistemas energéticos en todo el mundo para ayudar a abordar el cambio climático. Además, la cooperación en materia de energía nuclear y renovable implica varias implicaciones estratégicas que nuestro modelo explora para ayudar a alcanzar objetivos desafiantes de cero emisiones netas.

*Abstract ID 74 (Aula Magna, Thursday 16:20-16:40)*

### Comparison between two different optimization approaches applied in volt-var control of distribution systems with high photovoltaic penetration

Laura Ribeiro Fardín\* (Unicamp) [lauraffardin@gmail.com](mailto:lauraffardin@gmail.com)  
Fernanda Caseño Trindade Arioli (Unicamp); Christiano Lyra (Unicamp); Marcos Rider (Unicamp)

Renewable energy sources have been increasingly used in several countries, especially photovoltaic energy. In this context, photovoltaic distributed generation has gained many fans due to the possibility of reducing electricity costs for the consumer. However, this type of technology causes several challenges for the distribution concessionaire due to the bidirectional flow of energy. The objective of this study is to propose simultaneous control of voltage and reactive power (volt-var control (VVC)) to act on both traditional distribution network equipment and new equipment (smart inverters), changing the injection of reactive power seeking the point of minimum loss without voltage transgressions. Within this methodology, there are several VVC optimization strategies. Therefore, the present work presents two distinct optimization methods: non-linear optimization and dynamic programming. These optimization strategies were applied to a network of 136 buses with different levels of photovoltaic penetration. A typical load curve was used to study consumer energy consumption and photovoltaic generation on clear days. Energy losses and voltages across all system buses are obtained from four different perspectives: 1. No photovoltaic generation 2. With photovoltaic generation and VVC based on non-linear optimization 3. With photovoltaic generation and VVC based on dynamic programming 4. With photovoltaic generation but without VVC Initial results demonstrated that as we introduce distributed generation, total active losses initially drop, but as we increase the level of penetration, total losses also increase. Considering a penetration level of 50%, total losses increase by approximately 46% compared to the same network without photovoltaic generation. With VVC, these losses are reduced by approximately 16%. The reduction is similar for both optimization approaches, but dynamic programming is faster.

*Abstract ID 195 (Aula Magna, Thursday 16:40-17:00)*

### Optimización centrada en los usuarios para la autogestión de congestiones de línea usando ADMM considerando intercambio de energía y mercados locales de flexibilidad en comunidades energéticas.

Sebastian A San Martín\* (Universidad de Santiago de Chile) [sebastian.sanmartin.c@usach.cl](mailto:sebastian.sanmartin.c@usach.cl) Fernando FG García (Universidad de Santiago de Chile); Franco Quezada (Universidad de Santiago de Chile); Sebastián Dávila (Universidad de Santiago de Chile)

El principio sostenible ha motivado el estudio de modelos peer to peer (P2P) donde los agentes participan de forma activa, inyectando energía a la red. En este trabajo se presenta un modelo de comunidad energética en donde los usuarios cuentan con almacenamiento de baterías (BSS) y un sistema fotovoltaico (PV). La comunidad mejora el beneficio mediante un mercado local de energía (LEM) y mercado de flexibilidad en donde los nodos pueden tomar el rol de vendedor (comprador) cuando tienen un excedente (déficit). El esquema original es un modelo de 3 fases que considera energía activa y reactiva, y se compone por usuarios residenciales, operador de mercado (LMO) y operador de la red (DSO). Primero, los usuarios maximizan su beneficio y envían propuestas a LMO. Este resuelve el intercambio y

envía la información a DSO en donde se realiza un problema de flujo óptimo (OPF) para resolver congestiones y devuelve la información al LMO para reorganizar el intercambio. Esta modalidad es ineficiente y no escalable, por lo que el objetivo es plantear un esquema enfocado en los usuarios, en donde se resuelva el intercambio y los requerimientos de la red. Se propone un modelo descentralizado utilizando el método de multiplicadores de dirección alterna (ADMM), donde la información que se maneja son estimaciones de los demás nodos. En cada iteración se resuelve un problema OPF individual para las congestiones de línea y un problema individual para el intercambio de energía, ambos a través del método ADMM. El equilibrio se encuentra cuando cada prosumidor coordina su estimación con la solución de los demás usuarios. Se realizaron pruebas en una red de 33-buses en donde 11 usuarios mantienen PV, 3 BSS y el nodo 1 es una subestación por la cuál se permite el intercambio con la red. Los resultados preliminares muestran que la metodología es eficiente resolviendo los requerimiento energético respetando las restricciones físicas de la red y mejorando la escalabilidad del modelo.

*Abstract ID 312 (Aula Magna, Thursday 17:00-17:20)*

### Evaluación de escenarios de carga de vehículos eléctricos y de desarrollo de capacidad renovable en México.

Oliver Avalos Rosales\* (Universidad Autónoma de Coahuila) [o.avalos@uadec.edu.mx](mailto:o.avalos@uadec.edu.mx) Diego De León Medina (Universidad Autónoma de Coahuila); Rodrigo Palacios (Iniciativa Climática de México)

La problemática del cambio climático se refiere al aumento de la temperatura promedio de la Tierra debido a la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Una de las soluciones por las que se ha optado es el uso de vehículos eléctricos para reducir las emisiones de gases contaminantes, mejorar la calidad del aire y reducir la contaminación acústica en las ciudades. Sin embargo, la inclusión de los vehículos eléctricos también representa un desafío para un sistema eléctrico, ya que a medida que aumenta la adopción de vehículos eléctricos, la demanda de energía eléctrica también se incrementa. En México, el sector eléctrico es uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero el cual contribuye en un 40% de las emisiones, mientras que la adopción de vehículos eléctricos es todavía relativamente baja. En este trabajo se aborda el problema del despacho eléctrico considerando la carga adicional de los vehículos eléctricos al sistema. Esto implica la gestión eficiente y equilibrada de la generación y demanda de energía eléctrica en el sistema. Así como tomar decisiones sobre qué fuentes de generación deben suministrar electricidad en cada momento para satisfacer la demanda, a la vez que se satisfacen las restricciones operativas del sistema eléctrico. Para abordar la problemática se propone un modelo matemático de programación lineal considerando el caso del Sistema Eléctrico Nacional de México (SEN). El modelo considera la minimización de costos, las restricciones técnicas propias del SEN, datos de la demanda de energía eléctrica en el país, datos de demanda de los vehículos eléctricos, y la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se evalúan varios escenarios de carga de vehículos eléctricos y se presentan resultados preliminares discutiendo como podría impactar cada escenario en la generación y distribución de la energía eléctrica, así como en el uso de fuentes renovables con respecto a las fuentes no renovables.

## 6.44 Artificial Intelligence1

*Room: Auditorio Santander Norte, Thursday 16:00-17:30*

Session chair: Diana L. Huerta Muñoz

*Abstract ID 220 (Auditorio Santander Norte, Thursday 16:00-16:20)*

### Reducción del espacio de búsqueda para la pla-

## nificación de viajes para usuarios del transporte público basándose en sus preferencias.

Fernando Elizalde\* (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey) [fer\\_elizalde@tec.mx](mailto:fer_elizalde@tec.mx) Romeo Sanchez Nigenda (Universidad Autónoma de Nuevo León)

Uno de los problemas que más aqueja a las ciudades latinas es el tráfico vehicular, lo cual incrementa la contaminación atmosférica y auditiva. Una forma de combatir esto es a partir de un uso eficiente del transporte público, pero muchas veces somos renuentes a su uso debido al desconocimiento del cómo trazar una ruta origen-destino y que a la vez se ajuste a nuestras preferencias, ya sea como restricciones o variables a optimizar. Para ello se representa la red del sistema de transporte público en un modelo de planificación de IA basándose en acciones para transitar a través de un espacio de estados utilizando técnicas de representación del conocimiento y el uso de planificadores para darle solución. Para comparar los resultados obtenidos se planteó un modelo matemático. Debido al tamaño de la red y de su complejidad los tiempos de cómputo y escalabilidad no fueron del todo satisfactorios, por lo tanto, se propone un tratamiento para reducir el tamaño del grafo mediante la generación de meganodos, los cuales agrupan paraderos de autobuses en los nodos origen destino que se encuentran dentro de un radio, generando un subgrafo donde solo se consideran las rutas del transporte público a las que pertenecen los paraderos dentro de los meganodos y pequeñas secciones caminando. Como segunda opción tenemos el uso de un grafo  $G=(V,A)$ , donde los vértices  $V$  representan la ruta de transporte y los arcos las conexiones entre las rutas. Partiendo de los meganodos y de  $G$ , se buscan rutas que crucen a través de los meganodos origen-destino con un tamaño de arcos dependientes del costo económico permisible para el recorrido, generando un subgrafo que garantiza la conexión entre ambos puntos y que al ser más pequeño permite su escalabilidad y la reducción de los tiempos de cómputo. Esto último es bueno por que reduce el tiempo de espera del usuario, pero también en la parte medioambiental, ya que se reduce el consumo de energía eléctrica en su aplicación.

Abstract ID 161 (Auditorio Santander Norte, Thursday 16:20-16:40)

## An Operations Research and AI approach for modeling the Project Portfolio Optimization Problem

Jose L Ceciliano\* (Tecnológico de Monterrey) [jose Luis.ceciliano@tec.mx](mailto:jose Luis.ceciliano@tec.mx) Cipriano Santos (Tecnológico de Monterrey); Haitao Li (University of Missouri St. Louis); Andrés Téllez (Tecnológico de Monterrey); José Emmanuel Gómez Rocha (Tecnológico de Monterrey); Enrique Cortés (Tecnológico de Monterrey); Francisco Andrade (Tecnológico de Monterrey)

This work presents an Operations Research and Artificial Intelligence approach for modeling a project portfolio optimization problem for the IT services Industry. By integrating artificial intelligence techniques to predict the Full-Time Equivalent requirements of the jobs associated with each project (FTE requirements) into the portfolio optimization process, a more efficient allocation of resources is achieved. When considering FTE requirements in project portfolio optimization, it involves understanding the human resource aspect of each project. This includes identifying the types of roles needed for each project, estimating the number of hours or FTEs required for each role, and ensuring that the overall resource allocation aligns with the organization's capacity and goals. The presented model simultaneously addresses project selection and scheduling according to resource constraints and estimated requirements, optimizing the tradeoffs of several business objectives.

Abstract ID 286 (Auditorio Santander Norte, Thursday 16:40-17:00)

## Desde un Sospechoso a la Red Completa: El Poder del Modelo StPro en la Investigación Criminal

Fredy H Troncoso\* (Universidad del Bío-Bío) [froncos@ubiobio.cl](mailto:froncos@ubiobio.cl)

La identificación y disrupción de organizaciones criminales requiere recursos extensivos. Las investigaciones suelen comenzar con detalles limitados sobre el crimen y sin sospechosos identificados. En este trabajo, presentamos un modelo innovador llamado StPro, diseñado para identificar miembros de una organización criminal a partir de un solo sospechoso. Utilizando técnicas de optimización lineal basadas en árboles de Steiner, el modelo empieza con un sospechoso como nodo raíz y genera un árbol que representa la estructura de la red criminal. Esta configuración del árbol proporciona ideas sobre la posible organización con la que está asociado el sospechoso, facilitando un proceso de investigación más enfocado y efectivo. Para su implementación, se requiere el Rol Único Tributario (RUT) para identificar a cada criminal y el Rol Único de Causa (RUC) para identificar una causa criminal. La construcción de la red se realiza vinculando criminales asociados al mismo RUC. El modelo ha demostrado resultados comparables a los métodos actuales de vanguardia, pero con una cantidad significativamente menor de información requerida. Un estudio de caso particular involucró una banda de crimen violento en Chile, donde StPro identificó efectivamente a los miembros clave de la banda y sus conexiones, apoyando sustancialmente los esfuerzos de las fuerzas del orden. Este caso ejemplifica la capacidad del modelo para operar eficientemente en escenarios del mundo real, proporcionando un apoyo robusto para las investigaciones criminales. Además, la dependencia mínima de StPro en información inicial lo convierte en una herramienta invaluable en las etapas tempranas de las investigaciones, donde la escasez de datos es a menudo un gran desafío. Al construir rápidamente una configuración probable de la red criminal, el modelo permite a los investigadores asignar recursos de manera más estratégica, potencialmente acelerando la disrupción de las actividades criminales.

Abstract ID 141 (Auditorio Santander Norte, Thursday 17:00-17:20)

## Redes Neuronales para la Comprensión y Predicción de Decisiones Judiciales sobre Custodia de Menores

Carlos Serrano Cinca\* (Universidad de Zaragoza) [serrano@unizar.es](mailto:serrano@unizar.es) Jose Félix Muñoz Soro (Universidad de Zaragoza); Rafael del Hoyo Alonso (Instituto Tecnológico de Aragón)

Las decisiones judiciales relacionadas con la custodia de menores son de gran importancia para el bienestar de los niños y sus familias. En este estudio presentamos un sistema que combina técnicas de procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje automatizado para comprender y predecir tales decisiones judiciales. Nuestro enfoque se fundamenta en dos modelos distintos. El primer modelo está basado en la arquitectura transformer, y fue entrenado para identificar y etiquetar automáticamente elementos clave en las sentencias judiciales, como el tipo de custodia solicitada, la decisión del tribunal y los argumentos presentados por las partes. Este modelo se entrenó con un conjunto de datos compuesto por más de 3.000 sentencias anotadas manualmente por expertos jurídicos, y los resultados obtenidos demostraron una gran capacidad para identificar estos elementos con una precisión notable, incluso superando el acuerdo entre anotadores humanos. El segundo modelo utilizó una red neuronal multicapa, que fue entrenado para predecir las decisiones judiciales sobre custodia con base en los elementos fácticos, principios legales y demás información relevante presentada en las sentencias. La validación temporal de este modelo reveló una precisión superior al 85% en la predicción de las decisiones judiciales. Además, generamos reglas de decisión fáciles de interpretar utilizando árboles de decisión. El estudio aporta diversas contribuciones. No solo presenta un sistema innovador para la comprensión automática de sentencias judiciales sobre custodia de menores, sino que también evidencia la capacidad de los modelos Transformer para identificar entidades abstractas en textos legales. Asimismo, ofrece un modelo de predicción de decisiones judiciales con una alta precisión, identifica los factores determinantes en

la predicción de la custodia compartida y proporciona herramientas útiles para padres, abogados y fiscales involucrados en el proceso de toma de decisiones sobre custodia.

## 6.45 Scheduling3

Room: D33, Thursday 16:00-17:30

Session chair: Cristina Maya Padrón

Abstract ID 186 (D33, Thursday 16:00-16:20)

### Test-taking strategies and the promise of better results: Is it true?

Óscar C. Vásquez\* (Universidad de Santiago de Chile)  
[oscar.vasquez@usach.cl](mailto:oscar.vasquez@usach.cl) Óscar C. Vásquez (USACH)\*;  
 Sebastián Dávila (Universidad de Santiago de Chile)

In educational systems, standardized tests are frequently applied to students/candidates to assess the level of foreign language proficiency, mathematical knowledge, and analytical writing, among other requirements to obtain a place in a university or good work. Some students/candidates are prepared for months in specialized courses or via auto-learning with books, where they receive recommendations on test-taking strategies with the promise of optimizing their performance on test day. Unfortunately, the verification of this promise has not been formally addressed in the literature. In this work, we determine when a test-taking strategy satisfies this promise based on a novel approach called scheduling under explorable uncertainty. For this, we propose a comprehensive taxonomy based on a literature review, which allows us to organize, unify and formalize test-taking strategies described in the literature. The above allows us to identify the test-taking strategies that verifies the promise based on the test parameters (e.g. test type, the questions sequence, response times, etc.), providing some insights to determine when a test-taking strategy is better.

Abstract ID 230 (D33, Thursday 16:20-16:40)

### Efficient Heuristic Allocation of Activities with Personnel Skill Constraints and Time Windows

Rocio Salinas-Guerra\* (Tecnológico Nacional de México/IT Saltillo) [sague9503@gmail.com](mailto:sague9503@gmail.com) Efrain Ruiz y Ruiz (Tecnológico Nacional de México/I.T. Saltillo);  
 Jesús-Adolfo Mejía-de-Dios (Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila)

Effective scheduling of activities considering personnel and time constraints is critical for optimizing operational efficiency in industrial settings. This combinatorial problem arises from the necessity to allocate activities within large projects, aiming to minimize hiring costs, reduce the number of employees, and ensure equitable working hours. The complexity of this problem escalates with the inclusion of constraints such as worker skills, time windows, lunch breaks, among others. While existing literature presents similar problems with generally efficient exact algorithms, their computational expense significantly rises when incorporating time windows for the tasks. In this study, we propose an efficient heuristic that organizes employees and tasks based on priority assignment to efficiently satisfy time window constraints. Our results demonstrate that the proposed approach yields solutions within fractions of a second, outperforming exact algorithms that struggle to provide feasible solutions within several minutes of execution time for large problem instances.

Abstract ID 273 (D33, Thursday 16:40-17:00)

### Modelo matemático para la selección y secuenciación de actividades de aprendizaje diferenciando entre estilos de aprendizaje

Cristina Maya Padrón\* (Universidad Politécnica de García) [kerstin.maya@gmail.com](mailto:kerstin.maya@gmail.com) Nancy M. Arratia Martínez (Universidad de las Américas Puebla)

En este trabajo se aborda el problema de selección y secuenciación de actividades de aprendizaje diferenciado considerando un repositorio de actividades previamente diseñadas y que se asocian a distintos estilos de aprendizaje. La importancia de esta investigación radica en asegurar rutas de aprendizaje que contribuyan a las diferentes modalidades en la educación (en línea, presencial, aprendizaje autónomo, actividades sincrónicas o asincrónicas). El objetivo es desarrollar un modelo de programación lineal entero que permita generar una ruta de aprendizaje personalizada para el estudiante, la cual consiste en seleccionar actividades de aprendizaje que sean adecuadas a su estilo de aprendizaje. La función objetivo maximiza el grado de asociación entre los estilos de aprendizaje y las actividades seleccionadas e incluidas en las rutas de aprendizaje. En la literatura, el problema de secuenciación de actividades de aprendizaje ha sido abordado mediante planificación de IA, en donde se consideran los estilos de aprendizaje sin considerar la selección de actividades. Nuestra propuesta es integrar la selección de actividades al problema de secuenciación a través de programación matemática. En una primera etapa de esta investigación se trabajó en una metodología híbrida la cual considera un modelo matemático para la selección de actividades, considerando como función objetivo la minimización del tiempo total, y la planificación de IA para la secuenciación, esto sin considerar los estilos de aprendizaje. Actualmente se está trabajando en la integración del problema de selección y secuenciación considerando estilos de aprendizaje. En este trabajo se presentan resultados preliminares que muestran la asignación y secuenciación de actividades de aprendizaje a un conjunto de instancias. Además, se discuten líneas de investigación futura para integrar otros elementos relevantes del problema.

Abstract ID 151 (D33, Thursday 17:00-17:20)

### Barriers to the use of tests for early detection of colorectal cancer in Chile

Natalia Yankovic\* (Universidad de los Andes) [nyankovic.ese@uandes.cl](mailto:nyankovic.ese@uandes.cl) Felipe Subiabre (Universidad de Chile); Susana Mondschein (Universidad de Chile)

This study aimed to assess the use of colorectal cancer (CRC) tests for prevention and early detection, alongside exploring the associated barriers to these tests. A stratified national survey was conducted in Chile, involving 1,893 respondents (with a 2.3% error margin and 95% confidence interval). Logistic and multinomial regression analyses were employed to examine variations in test utilization likelihood and barrier. We found that the key determinants for undergoing CRC tests included age, health status, possession of private health insurance, and attainment of postgraduate education. Notably, 18% and 29% of respondents covered by public and private insurance, respectively, cited personal prevention as the primary motivation for test uptake. The principal obstacle identified was lack of knowledge, mentioned by 65% of respondents, while 29% and 19% of the publicly and privately insured respectively highlighted lack of access as a barrier. The results of this study provide valuable insights into factors influencing CRC screening, aiming to inform public health policies for expanding national coverage beyond diagnosis and treatment to encompass preventive measures.

## 6.46 Logistics5

Room: Aula Panamericana, Thursday 09:00-10:30

Session chair: Edgar Possani

Abstract ID 280 (Aula Panamericana, Thursday 09:00-09:20)

### Matheurística para el problema de empaquetami-

## Ento de objetos en contenedores

*Edith Lucero Ozuna\** (Universidad Autónoma de Nuevo León) [luceroozuna@gmail.com](mailto:luceroozuna@gmail.com) Diana L. Huerta Muñoz (Graduate Program in Systems Engineering, Universidad Autónoma de Nuevo León); Yajaira Cardona-Valdés (Universidad Autónoma de Coahuila); Vanesa Avalos-Gaytán (Universidad Autónoma de Coahuila)

El problema de empaquetamiento (Bin-Packing Problem BPP, en inglés) consiste en colocar objetos de diferentes tamaños y formas de manera eficiente dentro de un contenedor, minimizando el desperdicio y maximizando la utilización del espacio (NP-Hard). Este problema presenta aplicaciones muy variadas e interesantes. En un mundo donde los recursos son cada vez más limitados, el uso de técnicas avanzadas es indispensable para realizar operaciones eficientes y sostenibles. En este trabajo se muestra la aplicación de una matheurística basada en Kernel Search para el problema de empaquetamiento de objetos dentro de un contenedor rectangular de dimensiones fijas, considerando restricciones relacionadas a la carga de contenedores como capacidad y equilibrio de la carga. Kernel Search es una técnica que combina programación matemática y métodos heurísticos para resolver problemas de optimización combinatoria que pueden modelarse como problemas de programación lineal entera mixta (MILP). Ésta técnica está compuesta por dos fases: inicialización y mejora. En la primera fase, el MILP del problema original se relaja para identificar un subconjunto reducido de variables, conocido como "kernel", en el que se incluyen las variables que potencialmente pueden conducir a una solución óptima o cercana a ésta para el problema original. El resto de variables no elegidas se ordenan estratégicamente para crear subconjuntos llamados buckets. En la segunda fase, cada bucket se evalúa de manera secuencial junto con el kernel para resolver un MILP restringido, con el fin de mejorar la solución usando un menor número de variables de decisión en cada iteración. El procedimiento se realiza hasta que todos los buckets sean evaluados. Durante esta charla se expondrán resultados preliminares sobre instancias de la literatura con el objetivo de mostrar la eficiencia de la matheurística para obtener soluciones factibles al problema de estudio sin deteriorar mucho su calidad.

*Abstract ID 331 (Aula Panamericana, Thursday 09:20-09:40)*

## Optimización del cargue de transformadores eléctricos en contenedores en la logística de distribución de última milla para una industria en Colombia

*Julián González Velasco\** (Universidad del Valle) [julian.gonzalez.v@correounivalle.edu.co](mailto:julian.gonzalez.v@correounivalle.edu.co) Juan C González (Universidad del Valle); María Luisa Ossa (Universidad del Valle); Marta Cabo Nodar (Instituto Tecnológico Autónomo de México)

En la logística de distribución, el transporte juega un papel importante, aspecto que se evidencia con el llenado de vehículos y/o contenedores, con el propósito de garantizar una entrega oportuna al menor costo, cumpliendo con los factores que condicionan el llenado, la normatividad en relación con el máximo peso posible para el tránsito por las vías, al igual que los factores condicionantes de capacidad, distribución balanceada, y espacio disponible en los vehículos, al mismo tiempo de las consideraciones relacionadas con la entrega a múltiples clientes de acuerdo con la demanda. Con base en la anterior, el presente trabajo aborda la integración de dos problemas relevantes en la literatura y la práctica concernientes al Bin Packing Problem BPP y el Container Loading Problem CLP. El problema consiste en el llenado de una flota heterogénea de vehículos para el envío de transformadores en el territorio colombiano, aprovechando las tres dimensiones. El objetivo de esta investigación es optimizar la capacidad de los vehículos para el despacho con el llenado de transformadores eléctricos de diferentes capacidades, considerando las restricciones propias relacionadas con capacidad, peso y dimensiones, además del ruteo de los vehículos según la demanda en el mercado nacional con entre-

gas a múltiples clientes a través de la formulación de un modelo de programación lineal entera mixta, cuya validación se realizó en una empresa productora y comercializadora de transformadores eléctricos en Colombia. Dada la naturaleza NP-Hard del problema, se busca obtener la mejor solución posible en un tiempo de cómputo razonable. Los resultados obtenidos en la investigación muestran la relevancia de la solución en la optimización de recursos y el mejoramiento de los procesos operativos en el despacho, transporte y gestión del almacenamiento.

*Abstract ID 54 (Aula Panamericana, Thursday 09:40-10:00)*

## Effects of including set partitioning/covering subroutines in non-exact methods to solve Vehicle Routing Problems: a meta-analysis

*Alejandro Arenas-Vasco\** (Universidad ITM) [aarenas2.aa@gmail.com](mailto:aarenas2.aa@gmail.com) Daniela Alcázar (Universidad de Antioquia); Alejandro Arenas-Vasco (Universidad ITM)\*; Juan Guillermo Villegas (Universidad de Antioquia)

The Vehicle Routing Problem (VRP) has been one of the most researched topics in Operations Research (OR). VRP research has become so widespread over time that now it is rare to find articles that solve the classical capacitated VRP. Instead, it is more common to find Multi-Attribute VRPs (MAVRPs), in which more close-to-real-life characteristics are added to the original VRP. Given that MAVRPs are NP-Hard problems, how to solve them has become one of the most studied topics in OR. Even though exact results are desired, the complexity of the problems makes it difficult to find proven optimal solutions in many cases. Therefore, OR practitioners have opted to use methods that find good-enough solutions through meta- and matheuristics. Describing all the meta- and matheuristics used to solve MAVRPs is beyond the scope of this research. However, in most cases, the methods either use a population of solutions or iterate over a single solution. As a result of these search strategies, many methods end with a handful of feasible solutions. One or a few of these are the best-found feasible solutions, and the others are neglected. Some studies try to find utility from all feasible solutions. The process is simple: decompose all the solutions found in individual routes and store them in a set. Then, solve a set partitioning/covering problem deciding which routes to use complying with the constraints of the problem. In the worst-case scenario, the solution will be exactly the best solution previously found, but it is possible to find a better solution that has not been previously considered. This process can be performed at the end of the algorithm (as a post-optimization subroutine) or iteratively during the execution of the meta- or matheuristic. The objective of this study is to quantify the effect of using this set partitioning/covering subroutine to find a better solution through a meta-analysis of the publications following this approach.

*Abstract ID 26 (Aula Panamericana, Thursday 10:00-10:20)*

## Optimizing coin distribution in the mexican banking system: minimize travelling costs and CO2 emissions.

*Edgar Possani\** (ITAM) [epossani@itam.mx](mailto:epossani@itam.mx) Carlos A. Alfaro (Banco de México); Mariana Gómez Vargas (Banco de México)

Cash distribution of metallic coins is a legal requirement and mandatory process of the Central Bank of Mexico. In this paper we propose a bi-objective mathematical programming model to optimize the routing of vehicles and inventory levels to satisfy the demand for coins of peer to peer and banking places to minimize both traveling costs as well as CO2 emissions. We solve the bi-objective model via an epsilon-constraint approach and a heuristic dependent on the definition of the serviceable neighborhood for the regional distribution centers. We show the advantages of implementing this model, discuss the trade-off of minimizing cost versus emissions, as well as various sensitivity analysis for a planning period of one year.

## 6.47 AI4AgroIB4

Room: Aula Magna, Thursday 09:00-10:30

Session chair: Nestor M Cid-Garcia

Abstract ID 52 (Aula Magna, Thursday 09:00-09:20)

### Un modelo de programación no lineal para el problema de delimitación de zonas de sitio específico

Luis Eduardo Urban Rivero\* (Instituto Tecnológico Autónomo de México) [lurbanrivero@gmail.com](mailto:lurbanrivero@gmail.com) Jonás Velasco (CIMAT Aguascalientes)

La agricultura es una de las actividades fundamentales de nuestra civilización, es necesaria para la alimentación desde una familia hasta un país completo. Sin embargo la cantidad de recursos utilizados es sumamente alta y recientemente se ha visto afectada por los fenómenos naturales que han provocado la escasez de recursos como el agua o ciertos nutrientes del suelo. La agricultura de precisión surge como un conjunto de conocimientos para tecnificar el campo que permita el uso óptimo de los recursos que se requieran para las actividades agrícolas. Dentro de la agricultura de precisión existe un problema conocido como delimitación de zonas de sitio específico (SSMZ por sus siglas en inglés), donde se busca dividir un terreno de cultivo en zonas con propiedades físico-químicas homogéneas. Dicho problema ha sido abordado sobre todo con técnicas heurísticas, pero no se tiene un punto de comparación con un método exacto o modelo. En esta plática se presentará un modelo de programación no lineal entera mixta (MINLP por sus siglas en inglés) para el SSMZ.

Abstract ID 167 (Aula Magna, Thursday 09:20-09:40)

### Mathematical and logic formulations for the orthogonal delineation site-specific management zone problem

Salvador J Vicencio-Medina\* (Tecnológico de Monterrey) [chavachui@gmail.com](mailto:chavachui@gmail.com) Franco Quezada (Universidad de Santiago de Chile); Nestor M Cid-Garcia (CONAHCYT-CentroGeo); Omar Jorge Ibarra-Rojas (Universidad Autónoma de Nuevo León); Yasmin Agueda Ríos Solís (Tecnológico de Monterrey)

Precision agriculture is a globally embraced concept that enhances agricultural yields by efficiently managing various decisions throughout the precision agriculture cycle. One crucial early stage involves delineating agricultural fields to strengthen economic and ecological outcomes. The Orthogonal Site-Specific Management Zone problem seeks to minimize the number of field zones, ensuring each zone is homogeneous to a soil property and maneuverable for agricultural machinery. Only heuristics have been proposed for this problem, explicitly addressing orthogonal management zones. The challenge lies in integrating orthogonality into each zone, which is critical for practical implementation. This study introduces three mixed integer programming mathematical models and one constraint programming model that offer solutions with orthogonal zones meeting agricultural homogeneity requirements. Experimental results using a benchmark from the literature demonstrate the models' high-quality performance for small and medium instances.

Abstract ID 75 (Aula Magna, Thursday 09:40-10:00)

### Determinación de zonas de manejo poligonales en agricultura de precisión.

Alejandro Grimaldo Martínez\* (Universidad Autónoma de San Luis Potosí) [a\\_grimaldo\\_96@outlook.com](mailto:a_grimaldo_96@outlook.com) Yasmin Agueda Ríos Solís (Tecnológico de Monterrey)

La agricultura de precisión implementa las tecnologías de la información al ejercicio agrícola. Existen diversas técnicas para recopilar datos espaciales sobre propiedades físicas o químicas del suelo, dichas propiedades pueden usarse para tomar decisiones que mejoren

la calidad o rendimiento de la cosecha. La determinación de zonas de manejo consiste en buscar particiones del terreno en una parcela, que maximicen la homogeneidad interna de una propiedad de suelo, al mismo tiempo que dichas zonas sean significativamente diferentes entre sí. En el actual trabajo se presentan métodos metaheurísticos para encontrar la mínima cantidad de zonas de manejo poligonales en instancias con alta densidad de información, se espera que estas soluciones reduzcan la cantidad de zonas resultantes respecto al uso de zonas ortogonales, sin descuidar la utilidad práctica de la partición. Se presentaran resultados computacionales para probar la eficiencia de los métodos propuestos.

Abstract ID 377 (Aula Magna, Thursday 10:00-10:20)

### A weighted delineation for site-specific management zones with multi-soil properties

Nestor M Cid-Garcia\* (CONAHCYT-CentroGeo) [nxtr.cd@gmail.com](mailto:nxtr.cd@gmail.com)

A site-specific management zone (SSMZ) is a sub-region inside of the agricultural field for which a specific rate of inputs is adequate. The SSMZs allow the application of inputs at the right time, the right place, and the right moment. Dividing the field in SSMZs helps the farmers to i) face the heterogeneity of the soil properties, ii) improve the agricultural practices, iii) increase the crop yield, iv) save resources, and v) increase the incomes at the end of the production cycle. Due to the scarcity of resources, the changes in the weather conditions, and the increases in production costs, the generation of SSMZs became more relevant to reach a more efficient agriculture. Generally, the delineation of SSMZ uses just one soil property: chemical, physical, or biological. However, to make more profitable agricultural practices, a combination of several soil properties must be considered in the generation of SSMZs. In this study, we present a new methodology to delineate rectangular site-specific management zones by considering multiple soil properties. Additionally, our mathematical formulation of integer linear programming considers a weighted objective function to make a difference between solutions with the minor number of zones and the maximum homogeneity level. Experimental results show the efficiency of our method and make a comparison concerning other methods of the literature.

## 6.48 Supply Chain Management1

Room: Diseño3, Thursday 09:00-10:30

Session chair: Efrain Ruiz y Ruiz

Abstract ID 95 (Diseño3, Thursday 09:00-09:20)

### Un modelo estocástico de dos etapas de localización con inventarios para el diseño resiliente de redes de cadena de suministro

Francisco J. Tapia-Ubeda\* (Universidad Católica del Norte) [francisco.tapia@ucn.cl](mailto:francisco.tapia@ucn.cl) Pablo A. Miranda-Gonzalez (Universidad Católica del Norte); Armin Lüer-Villagra (Universidad Andrés Bello); Elias Olivares-Benitez (Universidad Panamericana)

Las decisiones relacionadas con el diseño de la cadena de suministro tienden a tener un gran impacto en el desempeño de las compañías en el largo plazo. Mas aún, considerando la posibilidad de ocurrencia de eventos disruptivos que condicionen la operación normal de la red. Así, es esencial la integración de aspectos de resiliencia en el diseño de la red de la cadena de suministros. En esta investigación se propone un modelo de localización con inventarios en dos etapas que integra eventos disruptivos de mediana intensidad en donde se afectan las bodegas. La idea es poder tomar decisiones a priori que permitan saber cómo operar ante la ocurrencia de eventos disruptivos. Entonces, una vez ocurrido un evento disruptivo, los clientes de la bodega afectada deberán ser reasignados temporalmente para poder seguir siendo

atendidos. Para esto, se tiene que estas decisiones afectan las asignaciones, los inventarios, los niveles de servicio, etc. Considerando la naturaleza del modelo se propone un enfoque de resolución basado en la Descomposición Generalizada de Benders que permite abordar la no convexidad y no linealidad del problema. Se encuentran soluciones óptimas en tiempos competitivos para instancias sintéticas de tamaño mediano.

*Abstract ID 124 (Diseño3, Thursday 09:20-09:40)*

### Un enfoque sistemático para la selección de política de control de inventario y el diseño de la red de cadena de suministro

Juan Pablo Peralta\* (Universidad Católica del Norte)  
[juan.peralta@ce.ucn.cl](mailto:juan.peralta@ce.ucn.cl) Francisco J. Tapia-Ubeda  
 (Universidad Católica del Norte); Pablo A.  
 Miranda-Gonzalez (Universidad Católica del Norte); Elias  
 Olivares-Benitez (Universidad Panamericana); Armin  
 Lüer-Villagra (Universidad Andres Bello)

La gestión de la cadena de suministros es un elemento crucial para la competitividad de las organizaciones, ya que tiene un impacto significativo en la eficiencia operativa. Uno de los desafíos clave en esta gestión es el diseño de la red de cadena de suministros, que se refiere a la planificación y organización de la infraestructura física y logística de la cadena, incluyendo selección de proveedores, localización de posibles centros de distribución y asignación de clientes, con el objetivo de satisfacer la demanda de los clientes de manera eficiente. Tradicionalmente la toma de decisiones para el diseño de la red de suministros se toma de manera aislada y jerárquicamente, este enfoque no considera los requerimientos específicos de las decisiones posteriores. De esta forma se hace necesario una propuesta de toma de decisiones de manera integral enfocada en encontrar mejores soluciones globales. Así, hace unas décadas nace los modelos de localización con inventario que tradicionalmente integran decisiones tácticas y estratégicas. Sin embargo, estos modelos asumen a priori una política de control de inventario fija y conocida. En este contexto esta investigación propone un modelo novedoso de localización con inventarios, que permite la selección de la política de control de inventarios asegurando costo-eficiencia. Dado que el modelo propuesto es un modelo no-lineal, no-convexo, entero mixto se presenta además un enfoque basado en la Descomposición Generalizada de Benders. La implementación del enfoque de resolución propuesto ha permitido encontrar el óptimo eficientemente y en tiempos competitivos para las instancias testeadas.

*Abstract ID 210 (Diseño3, Thursday 09:40-10:00)*

### Inventory Control Optimization: A Stochastic Approach in the Mercado Libre Context

Maria Gabriela Stevanato Furtado\* (Mercado Livre)  
[gabriela.furtado@mercadolive.com](mailto:gabriela.furtado@mercadolive.com) Eduardo Curcio  
 (Mercado Livre); Eduardo Candido Xavier (Mercado  
 Livre); José Jurandir Alves Esteves (Mercado Livre)

In the complex and dynamic world of e-commerce, efficient supply chain management is crucial for maintaining cost-effectiveness and customer satisfaction. This study presents the challenges and solutions developed by Mercado Libre, one of Latin America's leading e-commerce platforms, in optimizing their stock transfers among the fulfillment centers. The focus of this stochastic optimization lies in minimizing total costs, including constraints of the network, stock availability, demand forecasting and scheduled inbounds. This approach not only tackles the logistics challenges inherent in a vast network with restricted inventory levels, but also ensures products are strategically placed closer to the customers, thus improving service delivery and decreasing the costs associated with transport. The results of this study provide essential insights into inventory management and the overall efficiency of the supply chain, demonstrating broad applicability within the sphere of global e-commerce logistics.

*Abstract ID 111 (Diseño3, Thursday 10:00-10:20)*

### A Matheuristic for the Distance Constrained Inventory Routing Problem

Efrain Ruiz Y Ruiz\* (Tecnológico Nacional de México/I.T. Saltillo) [hector.ry@saltillo.tecnm.mx](mailto:hector.ry@saltillo.tecnm.mx) Leonardo Ordoñez-Guerrero (Tecnológico Nacional de México/I.T. Saltillo); Efrain Ruiz y Ruiz (Tecnológico Nacional de México/I.T. Saltillo)\*; Valeria Soto-Mendoza (Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas, Universidad Autónoma de Coahuila); Ricardo Martínez (ecnológico Nacional de México/I.T. Saltillo)

The present work presents a Matheuristic solution approach to solve numerical instances for the Distance Constrained Inventory Routing Problem (DCIRP). The DCIRP is an extension of the classic Inventory Routing Problem in which the duration of the distribution routes is restricted so drivers do not have to work extra time. The DCIRP's goal is to define when, how much, and how to deliver a given commodity to a set of customers with a specific demand for the commodity. In this matheuristic approach, the problem is divided into two subproblems: i) the inventory problem and ii) the routing problem. First, the inventory part of the problem is solved, and then, using the obtained solution routes for the vehicles are defined. The results show that this heuristic approach obtains better solutions for large instances when compared to an exact method.

## 6.49 Sustainable Transport1

*Room: Central12, Thursday 14:00-15:30*

Session chair: Francisco Ruiz-Barajas

*Abstract ID 166 (Central12, Thursday 14:00-14:20)*

### Integrated timetabling and vehicle scheduling and electric fleet procurement for a sustainable transit system.

Diana L Quintanar Sánchez\* (Universidad Autónoma de Nuevo León) [quintanars.diana@gmail.com](mailto:quintanars.diana@gmail.com) Omar Jorge Ibarra-Rojas (Universidad Autónoma de Nuevo León)

In rapidly growing urban centers, there exists a significant opportunity to enhance efficiency in transportation planning and operations. This research aims to support decision-making processes that deliver high-quality transportation services which are environmentally sustainable and economically viable. Efficient urban transportation is tackled through a comprehensive planning process involving various subproblems at different decision levels: network line design, frequency setting, timetable design, vehicle/driver scheduling, and driver rostering. Our work focuses on addressing strategic, tactical, and operational decisions of the transportation system by optimizing social, economic, and ecological objectives. We integrate three optimization problems into a multi-objective approach: timetabling to enhance service regularity (social objective), vehicle scheduling to reduce operational costs (economic objective), and procurement of electric vehicles to maximize electrified kilometers (ecological objective). To model our problem, we employ concepts of mixed-integer linear programming and conduct preliminary experiments using randomly generated instances. We optimize objectives independently to analyze the impact of each objective function on the overall system.

*Abstract ID 371 (Central12, Thursday 14:20-14:40)*

### A generalization of the vehicle scheduling problem with mixed fleet and multiple types of technology

Yulitza Yazmin Jacobo-Romero\* (Universidad Autónoma de Nuevo León) [yuli\\_\\_1296@hotmail.com](mailto:yuli__1296@hotmail.com)

Public transportation is a more environmentally sustainable option compared to the use of private vehicles. Moreover, well-planned public transportation systems can promote the use of renewable energy and clean technologies, further enhancing their positive impact on the environment. Optimizing public transportation systems involves addressing subtopics such as infrastructure and network design, passenger flow management, vehicle allocation, and driver assignment. By considering these aspects integrally, it is possible to improve the efficiency, sustainability, and quality of public transportation, creating systems that meet user needs and contribute to more livable and sustainable cities. In this study, we present a generalization for the problem of electric vehicle assignment in a public transportation system, which involves strategic decisions such as the location of charging stations. This generalization considers a public transportation network integrated by various depots, the use of different types of vehicles, and different charging technologies, such as depot charging and on-route charging. It is worth noting that during on-route charging, vehicles transport passengers, so prolonged charging times have a negative impact on the user experience. Thus, our optimization problem involves determining the scheduling of trips and the charging actions for different lines in the system, where each line is assigned a type of vehicle, with the objective of minimizing fleet size. We propose a mathematical formulation of the mixed-integer nonlinear problem, which includes strategic decisions (EVSP-LS) to reduce the high costs of charging infrastructure. For the validation of the proposed mathematical formulation for EVSP-LS, the optimization model was implemented in case studies of different cities in Chile. In addition to analyzing the solver's efficiency in our model, we have defined several indicators for the obtained solutions.

*Abstract ID 337 (Central12, Thursday 14:40-15:00)*

### **Simulation of charging station capacity to mitigate failed interurban trips of electric vehicles: A case study in Mexico**

*Simge Deniz\** (Tecnologico de Monterrey)  
[simgedeniz.8@gmail.com](mailto:simgedeniz.8@gmail.com) Adrian Ramirez-Nafarrate (Tec de Monterrey)

In response to the imperative shift towards sustainable transportation solutions, the electric vehicle (EV) market has witnessed a dramatic growth, necessitating a holistic understanding of battery dynamics and charging infrastructure. This paper introduces a pioneering simulation model designed to mitigate interurban trip failures among 55 metropolitan areas located in various states of Mexico by meticulously evaluating charging station capacities, EV demand patterns, and associated waiting times. By delineating prevalent vehicle models, route preferences, and target cities, we leverage national statistical data from 2022 to discern prevailing EV traffic dynamics. Employing Python-based simulation frameworks, we integrate input data and derived probabilities, continuously refining our algorithm through rigorous testing iterations. The conclusive results furnish actionable insights and strategic recommendations, providing a data-driven approach to anticipate and address the escalating demand for charging infrastructure. This methodology is particularly salient in regions witnessing a surge in EV adoption, underpinning the significance of our findings not only within the focal metropolitan areas but also across other geographic regions in Mexico.

*Abstract ID 47 (Central12, Thursday 15:00-15:20)*

### **Modelo multiobjetivo para optimizar la localización de las estaciones de recarga para el proceso de descarbonización en México**

*Francisco Ruiz-Barajas\** (Universidad Panamericana)  
[0185303@up.edu.mx](mailto:0185303@up.edu.mx) Elias Olivares-Benitez (Universidad Panamericana); Adrian Ramirez-Nafarrate (Tec de Monterrey); Rosa G González Ramírez (Universidad de los Andes Chile)

Los vehículos eléctricos son una gran promesa para cumplir objeti-

vos de mejora en el medio ambiente relacionado con la disminución de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, aún predomina el uso de vehículos eléctricos dentro de las áreas metropolitanas derivado de la disponibilidad de la infraestructura de recarga. Por esta razón, en diversos países se observan mejoras en la infraestructura de carga dentro de las áreas conurbadas, lo cual representa una gran oportunidad para analizar la ampliación de la infraestructura de recarga para viajes entre ciudades. En este trabajo se analiza el problema de localización de estaciones de recarga para vehículos eléctricos que hacen viajes interurbanos. Como planteamiento a la problemática, se desarrolló una extensión del modelo de flujo de recarga para localización utilizando tres funciones objetivo, como lo son la maximización de mitigación de CO<sub>2</sub>, la minimización del costo y la minimización de las horas de recarga. Después se implementó el método de  $\epsilon$ -restricción para resolver el modelo propuesto. Se ejecutaron experimentos computacionales considerando diferentes escenarios, utilizando puntos estratégicos de la red carretera de México. Se realizó un análisis comparativo entre el desempeño de un vehículo eléctrico y uno de combustión interna. Los resultados indican que cerca de 28 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> puede evitarse con una inversión cercana a los \$4 millones de dólares, añadiendo 20 estaciones de recarga en puntos estratégicos.

## **6.50 Location1**

*Room: Aula Magna, Thursday 14:00-15:30*

Session chair: Justo Puerto

*Abstract ID 107 (Aula Magna, Thursday 14:00-14:20)*

### **Una Metaheurística GRASP para un problema de diseño territorial aplicado a instituciones microfinancieras**

*Eduardo Salazar\** (UANL) [eduardosalaz@outlook.com](mailto:eduardosalaz@outlook.com)  
 Roger Ríos-Mercado (UANL); Diana L. Huerta Muñoz  
 (Graduate Program in Systems Engineering, Universidad Autónoma de Nuevo León)

Las instituciones microfinancieras son importantes en economías emergentes como parte de los programas que intentan reducir la desigualdad de ingresos y la pobreza. Ofrecen crédito y otros productos financieros a mercados desfavorecidos que normalmente son rechazados por bancos comerciales ya que representan un riesgo alto con poca ganancia. Sin embargo, el riesgo asociado a los préstamos otorgados debe de balancearse a través de distintas sucursales. Se plantea un problema de optimización combinatoria del tipo de diseño territorial, donde la decisión principal a tomar es cuáles sucursales abrir de los sitios posibles y a qué sucursales se asignan las unidades básicas de atención, minimizando la suma de las distancias de las unidades básicas a su sucursal, tomando en cuenta las restricciones únicas a las que se somete este problema: balanceando el riesgo de las unidades básicas así como el tipo asociado a cada posible sucursal a emplear. Otros requerimientos presentes son: el balanceo de actividades y sus medidas dentro de un rango de tolerancia. Se presenta un modelo de programación entera. Para la resolución de este problema NP-duro, se propone un procedimiento aleatorizado de búsqueda voraz adaptativa (GRASP). GRASP es un proceso multi-arranque iterativo donde cada iteración se compone de dos fases, un procedimiento constructivo aleatorizado y un procedimiento de búsqueda local para la mejora de la solución construida previamente. Se presentan experimentos computacionales que incluyen la evaluación de cada uno de los componentes de la metaheurística propuesta en cuanto a calidad de solución y tiempo de cómputo empleado así como su desempeño con y contra métodos exactos.

*Abstract ID 223 (Aula Magna, Thursday 14:20-14:40)*

### **Territory design for the multi-period vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery**

Matías Ignacio Riso Cortés\* (Universidad Católica del Norte) [matias.cortes06@alumnos.ucn.cl](mailto:matias.cortes06@alumnos.ucn.cl) Matías Ignacio Riso Cortés (Universidad Católica del Norte)\*; Hernán Lespay (Universidad Católica del Norte)

El presente estudio propone una estrategia de Diseño de Territorios para el Problema de Ruteo de Vehículos Multiperiodo con Recolección y Entrega Simultánea y Ventanas de Tiempo (TD-MPVRPSPDTW). Este problema trata con el Diseño de Territorios compactos y contiguos para recolectar y entregar órdenes desde un depósito hacia clientes que tienen ventanas de tiempo en un enfoque multi-periodo. Este problema está motivado por la circularidad de la cadena de suministros, debido a que integra tanto la recolección como el despacho de productos hacia los clientes, generando un ciclo cerrado en la logística de última milla. La consistencia en el servicio obtenida a través del Diseño de Territorios, permite añadir ventajas competitivas a las empresas en relación a la confianza y regularidad que se generan con los clientes. El problema es formulado como un modelo de programación lineal entera-mixta (MILP) y resuelto mediante un algoritmo metaheurístico.

Abstract ID 288 (Aula Magna, Thursday 14:40-15:00)

### Aplicando el enfoque multinivel de partición de grafos al problema de regionalización.

Héctor Saib Maravillo Gómez\* (UDLAP) [hector.maravillo@udlap.mx](mailto:hector.maravillo@udlap.mx)

En su forma general, la partición de grafos o gráficas es una familia de problemas que consiste en dividir los vértices de un grafo en grupos disjuntos cuyos subgrafos inducidos son conexos, asegurando que se cumplan ciertas restricciones y se optimice un objetivo específico. Un enfoque heurístico que ha sido muy exitoso para abordar estos problemas es la reducción iterativa del grafo, usando la partición encontrada en la iteración anterior como base para construir un nuevo grafo y resolviendo el problema de partición de manera recursiva. Además, se aplican subrutinas de búsqueda local para refinar la partición en cada iteración. Dentro de este enfoque, podemos incluir a los algoritmos de Louvain y Leiden en detección de comunidades, y el método multinivel para el problema de partición equilibrado de grafos. Los problemas de regionalización, distritación política o diseño de territorios con restricciones de contigüidad pueden modelarse como problemas de partición de grafos. Pese a ello, el enfoque de agregación multinivel no ha recibido atención en estos problemas de agrupación geográfica, debido a la dificultad para definir cómo reducir la información del problema entre cada iteración. En este trabajo se discute cómo utilizar el enfoque multinivel en el problema de regionalización económica. En este problema se busca agrupar unidades geográficas en regiones conexas maximizando la homogeneidad económica intrarregional. Se propone una función de calidad de la partición que permite reducir la información económica de una iteración a otra. Se presenta un algoritmo multinivel y se evalúa su rendimiento con instancias reales usando datos municipales del Censo Económico 2019 en México.

Abstract ID 140 (Aula Magna, Thursday 15:00-15:20)

### Location problems with different regions and barriers

Justo Puerto\* (Universidad de Sevilla) [puerto@us.es](mailto:puerto@us.es)

In this paper we study the problem of finding a simple shortest path in a  $d$ -dimensional real space subdivided in several polyhedra endowed with different  $l_p$ -norms. Besides, we consider is the continuous single facility location that results in this subdivision of  $l_p$ -normed polyhedra. The first problem is a variant of the weighted region problem, a classical path problem in computational geometry. We relate its local optimality condition with Snell's law and provide an extension of this law in our framework space. We propose a solution scheme based on the representation of the problem as a mixed-integer second order cone problem (MISOCP) using an  $l_p$ -norm modeling procedure given in Blanco et al. (Comput Optim Appl 58(3):563-595, 2014). We derive two different MISOCPs formulations, theoretically com-

pare the lower bounds provided by their continuous relaxations, and propose a preprocessing scheme to improve their performance. The usefulness of this approach is validated through computational experiments. The formulations provided are flexible since some extensions of the problem can be handled by transforming the input data in a simple way. To solve the second problem, we adapt the solution scheme that we developed for the shortest path problem and validate our methodology with extensive computational experiments.

## 6.51 Humanitarian Logistics1

Room: Aula Panamericana, Thursday 16:00-17:30

Session chair: Dolores E Luna Reyes

Abstract ID 35 (Aula Panamericana, Thursday 16:00-16:20)

### Integración de programación meta, QFD y AHP, en el diseño de cadenas de suministro humanitarias

Leonardo Gonzalez-Rodriguez\* (Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia)

[lgonzalezr@unimagdalena.edu.co](mailto:lgonzalezr@unimagdalena.edu.co) FEIZAR RUEDA (UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS); Nestor Caicedo (Universidad del Magdalena)

Este trabajo presenta como propuesta la combinación entre Programación Meta con prioridades, Despliegue de funciones de Calidad (QFD) y Proceso de Jerarquía Analítica (PJA), en el diseño de cadenas de suministro humanitarias a nivel estratégico desde un enfoque cooperativo incorporando zona seguras. Para esto, se tomó como referencia la configuración de la cadena de suministro humanitaria propuesta por (Blecken, 2009) y el concepto de zonas seguras adaptado a ambientes humanitarios (Kalenatic et al., 2011) propuesto originalmente en la logística militar (DOD, Department of Defense, 2000). El despliegue de funciones de Calidad (QFD) y el Proceso de Jerarquía Analítica (PJA), se usan para determinar las zonas seguras y el riesgo de los potenciales elementos que conformaran la cadena de suministro, generando insumos para la programación meta. El programa meta se desarrolla buscando prioritariamente la minimización de tiempo de respuesta y costos de deprivación, y subordinados a esta, la minimización del riesgo y los costos de operación de la cadena de suministro. Adicionalmente, se tienen en cuenta la infraestructura disponible posdesastre, el potencial donante de las poblaciones aledañas, y los inventarios disponibles, propios y de terceros. El modelo resultante determina la estructura de la cadena de suministro de ayuda humanitaria, así como su asignación a los diferentes actores cooperantes (agencias) del sistema. La propuesta conceptual se probó en escenarios simulados para un terremoto de gran magnitud en la ciudad de Bogotá, tomando como primer respondiente los municipios del primer anillo de influencia de la ciudad.

Abstract ID 184 (Aula Panamericana, Thursday 16:20-16:40)

### Pickup Delivery Capacitated Routing Problem for Humanitarian Logistics in a multi-dimensional representation network, including material convergence and deprivation costs

Luis E. Yáñez-Sandivari\* (Universidad Santo Tomás) [lyanez3@santotomas.cl](mailto:lyanez3@santotomas.cl)

This study aims to address the challenges of humanitarian logistics from a socio-technical perspective. We develop an optimization model for the humanitarian logistics response problem using vehicle routing and inventory management. This problem focuses on the short term, considering the planning horizon immediately following the occurrence of the disaster, where critical supplies must be distributed through a network affected by a natural disaster. The objectives of the formulation are: to minimize the social cost, understood as the logistical cost (transportation, fleet use, and inventory management),

as well as the cost of deprivation of a critical supply such as drinking water, which cannot be scarce beyond 72 hours (compromising the value of life); through the principles of the circular economy, to redistribute surplus supplies generated by unplanned donations; to address uncertainty in information related to demand, donor behavior, material convergence, network status, and travel times. This is achieved through a multi-attribute network approach, which considers an extended network in time and space, together with a dynamic load state. This allows for storing information on satisfied demand and deprivation costs, as well as considering the dynamic nature of a node between a pickup or drop-off point, by accounting for unplanned donations and material convergence. Since this is an NP-hard problem, heuristics and metaheuristics are used to test and plot solutions on time-expanded networks. A metaheuristic process is built from a tabu search with inter-relocation, inter-swap, intra-swap, tail Insertion type moves, within and between a set of scenarios for a stochastic and robust formulation along with adaptations to consider waiting times and partial load distribution along the routes to minimize the effect of material convergence and deprivation costs.

*Abstract ID 134 (Aula Panamericana, Thursday 16:40-17:00)*

### **A Smart Disaster Relief Supply Chain for Pandemic Situation Considering Sustainability Policies**

*Behzad Mosalla Nezhad\** (Tecnológico de Monterrey)

[behzadmosallanezhad@gmail.com](mailto:behzadmosallanezhad@gmail.com) Mostafa

Hajiaghahi-Keshтели (Tecnológico de Monterrey); Neale R.

Smith (Tecnológico de Monterrey); Ericka Zulema

Rodríguez Calvo (Tecnológico de Monterrey)

A pandemic can severely disrupt key sectors society and public healthcare system, including the supply chain, and often exceed the capabilities of governments and communities to handle it. To reduce the negative impacts of pandemics and ensure the efficient distribution of relief supplies to medical centers in need, a reliable relief supply chain network must be established. Moreover, the Internet of Medical Things (IoMT) is capable of enhancing healthcare by connecting medical devices and applications over the internet, allowing for real-time data collection, transmission, and sharing. In this study, we present a multi-objective scenario-based sustainable network model to manage the forward flow of relief and medical supplies and the reverse flow of waste within the network. It also focuses on reducing energy consumption in important activities like production and transportation, in line with the Sustainable Development Goals (SDGs). To support the model with real-time data, we propose an IoMT configuration. Given the complexity of the model, we use metaheuristic optimizers, including the Multi-objective Grey Wolf Optimizer (MOGWO), Multi-objective Seagull Optimization Algorithm (MOSOA), Multi-objective Keshтели Algorithm (MOKA), and Multi-objective Simulated Annealing (MOSA), across 15 test problems of different sizes. We evaluate the performance of these algorithms using indicators such as Hyper-Volume (HV), Inverted Generational Distance (IGD), and Mean Ideal Distance (MID). We test the normality of the results with the Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests. Then, we use the Wilcoxon test and Paired-Samples T-Test, with a significance level of 0.05, to compare the results. These tests show significant differences among the performance indicators. To identify the best-performing algorithm, we use interval plots and the Friedman test for each performance indicator. The results show that the MOSOA algorithm outperformed the other metaheuristic algorithms.

*Abstract ID 270 (Aula Panamericana, Thursday 17:00-17:20)*

### **Localización de albergues para atender situaciones de emergencia considerando capacidad.**

*Dolores E Luna Reyes\** (Universidad de las Américas

Puebla) [dolorese.luna@udlap.mx](mailto:dolorese.luna@udlap.mx) Juan Antonio Díaz

García (Universidad de las Américas Puebla); Héctor Saib

Maravillo Gómez (UDLAP)

En este trabajo se estudia la localización y asignación de albergues

para atender a la población vulnerable en caso de una situación de desastre. En particular, se aborda un problema de localización-asignación que consiste en seleccionar un conjunto de  $p$  albergues de entre un conjunto existente de posibles albergues potenciales, considerando la necesidad de atender toda la demanda sin sobrepasar la capacidad de los albergues seleccionados. Este tipo de problemas se ha estudiado típicamente utilizando modelos de localización de instalaciones con función objetivo tipo mini-sum (por ejemplo,  $p$ -mediana), problemas de cobertura (por ejemplo, máxima cobertura y cobertura de conjuntos), y problemas con función objetivo tipo mini-max (por ejemplo,  $p$ -centro) con diferentes suposiciones sobre el comportamiento de la demanda, la capacidad de las instalaciones, el presupuesto, etc. Estos modelos presentan limitaciones prácticas, ya que no para todos los casos pueden encontrar soluciones que asignen cada punto de demanda al albergue más cercano, al que acudiría la población en caso de un desastre, con el riesgo de congestionar algunos albergues. Para mitigar esta situación, se presentan modelos en los que se intenta asignar cada punto de demanda al albergue más cercano respetando la capacidad de los albergues seleccionados, con el objetivo de minimizar la distancia adicional que se debe recorrer cuando los puntos de demanda no se pueden asignar al albergue más cercano. Se incluyen formulaciones del problema, resultados computacionales preliminares con instancias reales con diferentes tipos de riesgos, y el análisis de estos resultados para evaluar la pertinencia de las formulaciones propuestas.

## **6.52 Finance1**

*Room: Auditorio Santander Sur, Thursday 16:00-17:30*

Session chair: Norberto A. Hernández Leandro

*Abstract ID 185 (Auditorio Santander Sur, Thursday 16:00-16:20)*

### **Equilibrio de Variaciones Conjeturales Consistentes para un Modelo Financiero**

*José Guadalupe Flores Muñiz\** (Universidad Autónoma de Nuevo León) [jose\\_guadalupe64@hotmail.com](mailto:jose_guadalupe64@hotmail.com)

Consideramos un modelo general de flujos financieros y precios con múltiples sectores e instrumentos. Cada sector optimiza la composición de activos y pasivos en su cartera, cuya utilidad se define mediante una función cuadrática sujeta a satisfacer la identidad contable que aparece en las cuentas de flujos de fondos y las condiciones de equilibrio que garantizan el equilibrio del mercado. Para definir el equilibrio financiero, hacemos uso del concepto de variaciones conjeturales, en el cual cada sector conjetura la posible dependencia de los precios de los instrumentos según la estructura de su cartera. El problema se modela como un juego continuo de dos etapas. En la primera etapa, el conjunto de estrategias para cada sector consiste en sus posibles conjeturas sobre su influencia en los precios. La segunda etapa es el problema de equilibrio financiero donde, de acuerdo con las conjeturas seleccionadas en la primera etapa, cada sector decide la composición de su cartera. Cada sector busca minimizar el riesgo, al mismo tiempo que maximiza el valor de sus activos y minimiza el valor de sus pasivos.

*Abstract ID 285 (Auditorio Santander Sur, Thursday 16:20-16:40)*

### **Market Risk Models Evaluation with MCDM Techniques**

*Tomas Tichy\** (VSB-TUO) [tomas.tichy@vsb.cz](mailto:tomas.tichy@vsb.cz)

An inherent part of financial engineering is to select a model, which is the most suitable for pricing, hedging and risk estimation. Only with proper risk management process the institutions can follow the strict standards of a relevant supervisor body. Necessary part of risk management is financial time series modelling, which is a challenging task due to specific features of data series, such as unpredictable rare

events, which can lead to huge losses (drops in the portfolio value), non-symmetry of the returns (large decline in the price is mostly followed by moderate increases), specific patterns of dependency functions of multivariate portfolios (Pearson linear coefficient of correlation is not sufficient to estimate the risk level properly). The decision making units in financial institutions consider various criteria, the most important being the correctness of the obtained results. Notwithstanding, some complex decision making tasks require model evaluation under various circumstances or with different input data. In most cases it happens that a model, which seems to be perfect under given settings, is outperformed by another model, when the conditions change, and that there is no model that dominates under all circumstances. In this paper we extend our previous results on the topic by application of suitable MCDM techniques. Specifically, we evaluate several market risk models combining selected copula functions and marginal distributions over a large set of probability levels to propose optimal combination of inputs. Specifically, we compare results obtained via various specifications of DEA and PROMETHEE methods, each coming from very different foundations. The results allow us to propose various policy recommendations.

*Abstract ID 263 (Auditorio Santander Sur, Thursday 16:40-17:00)*

### Downside Risk Applied to Brazilian Stock Portfolios During the Pandemic Period

*Silvia M S Carvalho\** (Federal University of São Carlos) [silviamsc@ufscar.br](mailto:silviamsc@ufscar.br) Carlos Moraes (Federal University of São Carlos); Yara Santiago (State University of Campinas)

The purpose of this work is the formation and optimization of investment portfolios and with shares on B3 (Brazil Stock Exchange and Over-the-Counter Market) based on the theory of the Markowitz model and Quadratic Programming. Portfolio risk minimization was considered using the Downside Risk system, modeled and implemented computationally. The data collection period began in 2020, the year in which there was a global economic crisis due to the Sars-CoV-2 pandemic and consequent isolation measures that profoundly affected the economy. Three portfolios were formed that performed between January 2021 and March 2022 and showed results above expectations in compared to the percentage variation of the Ibovespa.

*Abstract ID 359 (Auditorio Santander Sur, Thursday 17:00-17:20)*

### Un método híbrido para el problema de optimización de portafolios aplicado en el fondo de pensiones mexicano

*Norberto A. Hernández Leandro\** (CIMAT) [norberto.hl@gmail.com](mailto:norberto.hl@gmail.com)

Los sistemas de pensiones aseguran el bienestar económico de los trabajadores y sus familias tras la jubilación. En México, estos sistemas se basan en cuentas individuales administradas por las Administradoras de Fondos para el Retiro (AFORES), que invierten los ahorros en fondos llamados SIEFORES, con el objetivo de generar retornos que incrementen su valor y contrarresten la inflación. Para proteger los ahorros de los trabajadores, las inversiones realizadas por las AFORES deben cumplir con regulaciones establecidas por la Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CON SAR). En 2020, la CON SAR introdujo una reforma que incrementa las aportaciones obligatorias y establece nuevas regulaciones para las SIEFORES. Esto subraya la necesidad de encontrar estrategias de inversión que maximicen los retornos y minimicen los riesgos, dentro del marco regulatorio vigente, para asegurar mejores pensiones para los trabajadores. Este trabajo presenta una aplicación basada en una modificación del modelo multiperiodo de Calafiore (2008), en el que se agregan restricciones para suavizar las curvas de inversión, y cuyo objetivo es minimizar el riesgo total del plan de inversión, sujeto a un nivel de riqueza dado y considerando las regulaciones de la CON SAR. Este modelo presenta un alto costo computacional en términos de recursos y tiempo de procesamiento. Para abordar este problema, se propone

un método híbrido que se basa en la generación de soluciones parciales por medio del modelo de Markowitz, que se acoplan utilizando la fase constructiva de un GRASP. Además, este método puede ofrecer respuestas rápidas ante comportamientos inesperados en los fondos de inversión, crucial para la administración eficiente de los recursos de los trabajadores. Los resultados experimentales muestran una mejora significativa en los tiempos de ejecución. Además, se presenta una comparación con los resultados del modelo multiperiodo, evidenciando la eficacia del método híbrido propuesto.

## 6.53 Transport2

*Room: Auditorio Santander Sur, Thursday 14:00-15:10*

Session chair: Guillermo Sosa-Gómez

*Abstract ID 378 (Auditorio Santander Sur, Thursday 14:00-14:20)*

### Propuesta de ruta de transporte en una zona marginal en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga

*Alejandra Gomez Padilla\** (Universidad de Guadalajara) [alejandra.gomez@ucei.udg.mx](mailto:alejandra.gomez@ucei.udg.mx) Sashenka Adamari Salazar Sanchez (Unniversidad de Guadalajara); Laura Plazola Zamora (Universidad de Guadalajara)

Para realizar este trabajo, previamente se analizó el sistema de transporte Mi Transporte del área metropolitana de Guadalajara (AMG) y se identificó una zona con alta población que no cuenta con servicio por parte de este sistema. El análisis de ruta y de location allocation utilizando sistemas de información geográficos ha permitido diseñar una ruta eficiente, considerando aspectos demográficos y las características de la red vial. La combinación de estos análisis resultó en una propuesta para la planificación de rutas de transporte público para aumentar la movilidad. Si esta propuesta se implementa, se lograría un aumento del 3.97% en la población atendida. La propuesta integra las características de la red al modelo de solución, considerando factores como velocidad permitida, tiempos de recorrido, distancias e intersecciones con las redes de transporte ya existentes. Aunque se han considerado restricciones y condiciones del modelo real, como cruces y velocidad promedio de la vía, es crucial tener en cuenta otros factores como altimetría, condiciones de la vía y tráfico para lograr soluciones más robustas y adecuadas a las condiciones reales, así como para anticipar el aumento demográfico futuro. Al analizar la cobertura, se observa que de 28 localidades urbanas censadas en 2020, con la ruta alterna se estaría atendiendo el 96.43% de las mismas. En cuanto a la población del municipio, de crearse la ruta propuesta se llegaría al 65.97% atendido en todo el municipio considerando tanto las poblaciones rurales como urbanas. Para complementar el análisis, se podría examinar la tendencia de crecimiento demográfico en otras áreas que podrían superar los 2,500 habitantes, dando lugar a nuevas localidades urbanas que requerirían atención.

*Abstract ID 215 (Auditorio Santander Sur, Thursday 14:20-14:40)*

### Modelo compacto en Lingo para mitigar la congestión vehicular en Arequipa y evaluación del impacto mediante la simulación

*Efrain R Murillo\** (Universidad Católica de Santa María) [emurillo@ucsm.edu.pe](mailto:emurillo@ucsm.edu.pe) Alexander Murillo (Universidad Católica San Pablo)

Hoy en día las empresas de Transporte Urbano de pasajeros en el Perú sufren diversos problemas, dentro de los cuales tiene especial importancia los de congestión vehicular, así podemos mencionar el exceso número de vehículos en circulación en la ciudad debido a la deficiente programación de unidades vehiculares en función a la demanda del servicio de transporte, También podemos mencionar la excesiva capacidad ociosa de las unidades vehiculares en los intervalos de tiempo de

poca demanda del servicio de transporte. En este trabajo buscamos optimizar la programación diaria, semanal y mensual de los autobuses asignados a una ruta de transporte urbano de pasajero de la ciudad de Arequipa, buscando siempre la satisfacción del cliente y para ello aplicaremos la programación matemática utilizando los conceptos de programación lineal, programación binaria y programación multiobjetiva. Se utilizará el modelamiento compacto en Lingo en interacción con Solver debido al elevado número de variables del modelo matemático planteado. Así mismo aplicaremos la simulación de sistemas con el software Arena a fin de evaluar el impacto en la mitigación de la congestión vehicular. Los resultados encontrados fueron una programación diaria, semanal y mensual de autobuses con el número de unidades vehiculares coherentes con la demanda del servicio de transporte logrando mitigarla congestión vehicular en la ciudad. Así mismo se logró minimizar la capacidad ociosa de los vehículos asignados a la ruta en estudio. El uso del software LINGO y EXCEL para encontrar las soluciones fueron de gran utilidad ya que permitieron encontrar soluciones coherentes en problemas de gran dimensión de variables, así mismo el uso del software ARENA hizo posible evaluar el impacto en la mitigación de la congestión vehicular al aplicar el modelamiento compacto. Palabras clave: Modelamiento compacto, Congestión vehicular, Programación binaria, simulación de sistemas. Programación de autobuses.

*Abstract ID 71 (Auditorio Santander Sur, Thursday 14:40-15:00)*

### Un Algoritmo Genético para el Problema de Planificación de Rutas de Autobuses Escolares

*Guillermo Sosa-Gómez\* (Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Panamericana, Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco 45010, Mexico)*

[gsoag@up.edu.mx](mailto:gsoag@up.edu.mx) Luis Miguel Lagos Xenos (Facultad de Ingeniería Informática, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae); Eduardo Sánchez-Ansola (Facultad de Ingeniería Informática, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae); Alejandro Rosete (Facultad de Ingeniería Informática, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae); Guillermo Sosa-Gómez (Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Panamericana, Álvaro del Portillo 49, Zapopan, Jalisco 45010, Mexico)\*; Omar Rojas (Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Panamericana)

El Problema de Planificación de Rutas de Autobuses Escolares SBRP es NP-Completo, se usa para el transporte de estudiantes en autobuses. Se ha resuelto con algoritmos genéticos (AG), sin emplear operadores de cruzamiento propios del SBRP, ni describir los operadores, ni argumentar el tratamiento de las restricciones. Se propone un AG con: Heurística de construcción HSToCloseToSch: asigna estudiante a la parada más cercana a la escuela. Heurística de construcción HCloseNB basada en vecino más cercano con aleatoriedad en la selección de la parada inicial. Selección por torneo, tamaño 2. Cruzamiento StopCver: realiza cruzamiento en un punto entre las paradas de pares de rutas de las soluciones padres. Opera entre paradas y no entre las soluciones completas. Cada par de rutas para el cruce se selecciona de cada padre. Entre paradas se realiza cruzamiento en un punto. Mutación Reorder: reordena 5 paradas de una ruta de la mejor forma. Reparación para eliminar la duplicidad de paradas. Se mantiene un registro de paradas no visitadas. Si hay duplicadas, las reemplaza por una parada factible (no usada y que cabe) o la elimina si no hay factibles. Corregir el exceso de estudiantes. Para cada ruta que excede la capacidad del autobús, se eliminan las paradas con sus estudiantes hasta que no supere la capacidad. Se agregan las paradas faltantes a las rutas factibles. Se compara la propuesta con tres trabajos previos (ECMA, EDA, MaH). Se pretende evaluar la capacidad del AG propuesto para obtener buenas soluciones para ser usado en

condiciones de interactividad. Por eso, se limita a 1000 evaluaciones en el AG. Se experimentó con 45 instancias tomadas de MaH. El AG obtuvo el óptimo en 8 instancias, sus soluciones son solo un 6% mayores que la mejor obtenida para cada instancia. Solo es superado claramente por MaH y tiene un comportamiento cercano a ECMA (es 5% mayor), a pesar de realizar menos del 10% de evaluaciones que ECMA. El AG propuesto es mejor que EDA (22% mayor).

## 6.54 Logistics6

*Room: Central14, Thursday 14:00-15:30*

Session chair: Elizabeth Montero

*Abstract ID 118 (Central14, Thursday 14:00-14:20)*

### Diseño de un Algoritmo para el Problema de Ruteo de Vehículos Dinámico-Consistente con Recolección y Entrega Simultáneas

*Alexis Vicencio\* (Universidad Católica del Norte)*

[alexis.vicencio@alumnos.ucn.cl](mailto:alexis.vicencio@alumnos.ucn.cl) Hernán Lespay (Universidad Católica del Norte)

Este estudio aborda el Problema de Ruteo de Vehículos Dinámico-Consistente con Recolección y Entrega Simultáneas (DConVRPSPD), donde nuevos clientes con demandas tanto de recolección como de entrega se incorporan dinámicamente al inicio de cada período. En este problema se busca satisfacer los requerimientos de los clientes mientras se tiene en cuenta la consistencia del servicio en sus dimensiones de tiempo y persona. En la literatura se señala que la consistencia del servicio permite mejorar la satisfacción del cliente debido a que potencia una mayor experiencia de los conductores en su labor diario. Se propone un modelo de programación lineal entera mixta (MILP) y un algoritmo metaheurístico para resolver instancias basadas en la literatura. Para validar la efectividad de nuestra propuesta, se desarrollaron experimentos utilizando instancias de diferente complejidad.

*Abstract ID 190 (Central14, Thursday 14:20-14:40)*

### Simulación de Monte Carlo y modelo heurístico para el ruteo de vehículos en e-commerce

*Axel Q Caldera\* (ITESM) [axelq6346@gmail.com](mailto:axelq6346@gmail.com)* Victor H Garza Mantecón (ITESM); Avril M Ruiz Martínez (ITESM); Juan A Lucio-Rojas (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey); Fernando Elizalde (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey); Luis Fernando Navarro Saucedo (ITESM); Samantha Ruelas (Tecnológico de Monterrey)

En la era actual, el comercio electrónico ha experimentado un aumento exponencial, lo que ha impulsado la necesidad de optimizar la logística de entrega de productos y la toma de decisiones en empresas recién establecidas. El presente trabajo tiene por objetivo definir la cantidad y capacidad esperada de vehículos a comprar por una empresa que busca mejorar su proceso de entregas, así como el número de rampas de carga que se instalarán. Para lograr esto se cuenta con datos históricos sobre pedidos realizados, con cientos de direcciones de clientes y un catálogo de más de 50 mil productos. Debido a que los pedidos siguen un proceso estocástico, se realizó una simulación de Monte Carlo que prediga posibles casos de clientes y demandas, usando pruebas de bondad y distribución de Poisson. Los datos obtenidos de cada simulación alimentan la segunda parte del proyecto, un algoritmo heurístico de búsqueda voraz, considerando la complejidad del problema, basado en el CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem) para la creación de rutas de entrega. Para conocer la cantidad óptima de rampas de carga se usó la teoría de filas de espera simulando el embarque de los productos. El algoritmo propuesto presenta una factibilidad alta, ya que el costo computacional es bajo, tomándole menos de un segundo calcular rutas, y alrededor de 23 minutos

realizar mil iteraciones. Se obtiene la cantidad y capacidad de camiones que la empresa necesita, de manera que se cumple cualquier demanda que pueda surgir, mientras se optimiza el tiempo total de recorrido, lo que a su vez reduce los costos operativos. Además de implementar un algoritmo para la creación de rutas. La investigación muestra un impacto positivo en la empresa, permitiendo cumplir con la demanda establecida y cuidar la satisfacción del cliente, así como una toma de decisiones que permita darle el mejor uso a los recursos para dirigirlos a otras áreas, conociendo la capacidad a instalar.

*Abstract ID 189 (Central14, Thursday 14:40-15:00)*

### **Análisis de puesta en uso de un sistema de entrega e-commerce**

*Cecilia Palau-Dávila\** (Tecnológico de Monterrey)  
[cecypalau@hotmail.com](mailto:cecypalau@hotmail.com) Rogelio Lizárraga-Escobar (ITESM); Fernando Elizalde (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey); Gerardo Ramírez Chávez (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey)

En nuestro trabajo de investigación, presentamos un algoritmo para la entrega de productos de una empresa e-commerce, con el objetivo de mejorar significativamente su logística y organización, al centrarse en minimizar las horas totales de entrega. Así, el algoritmo cuenta con restricciones de capacidad y tiempo de las rutas de entrega. Además, realizamos un análisis detallado mediante filas de espera para determinar el número óptimo de rampas a instalar y las unidades de transporte necesarias para el traslado eficiente de los productos a entregar. Estos análisis se llevaron a cabo mediante simulaciones con datos reales, donde se considera el tamaño de pedido y los productos a comprar mediante distribuciones de probabilidad. Una vez simulada la demanda, el problema se formula como un Problema de Enrutamiento de Vehículos con Capacidad (CVRP), con ventanas de tiempo. Por ello, se propuso una solución, utilizando algoritmos de optimización de colonia de hormigas (ACO). Este algoritmo tiene la finalidad de encontrar rutas y horarios factibles que cumplan con los requisitos de entrega, teniendo en cuenta las restricciones. De esta manera, el CVRP fue resuelto con soluciones factibles, minimizando significativamente las horas totales de entrega y mediante simulación de Montecarlo del CVRP se determina la capacidad a instalar de planta.

*Abstract ID 122 (Central14, Thursday 15:00-15:20)*

### **Flexible-depot Multi-trip Vehicle Routing Problems**

*Elizabeth Montero\** (Universidad Técnica Federico Santa María) [elizabeth.montero@usm.cl](mailto:elizabeth.montero@usm.cl) Franco Menares (universidad Andres Bello)

Multi-trip multi-depot vehicle routing problems restrict each vehicle to a unique depot. In most state-of-the-art approaches, even when there is no specific constraint concerning the set of visited depots by each vehicle in each trip, specific constraints for different category depots are not included. Allowing last-mile dispatching services to visit different depots during a working day could improve the efficiency of the service reducing operational costs, especially, large back-to-depot costs. In this work, we propose, model, and solve the Flexible-depot multi-trip vehicle routing problem. In our formulation, we define specific sets of starting, in-between, and ending depots for each vehicle. In this way, each vehicle can start its working journey in a set of starting depots, can visit a set of given in-between depots each trip, and is allowed to end its working journey in a specific set of ending depots. We propose two sets of problem instances. Small problem instances of ten clients and large problem instances of one hundred clients were constructed based on real-world data of last-mile distribution processes in Santiago de Chile. In all these cases three depots and six different depot-allowance scenarios were studied. We use the mathematical model to evaluate improvements of the flexible-depot idea in small problem instances and a heuristic search method to estimate the computation effort required to solve real-sized problem

instances. From our results, we can observe a tendency that reflects improvements in total travel times when the flexible formulation is considered. The best solution is always obtained by the scenario that allows the selection of all depots for each task. The classical multi-trip multi-depot scenario shows the worst quality values in most cases. These results support our initial assumption that allowing a more flexible depot use can generate reductions in the costs associated with the corresponding distribution process.

## **6.55 Simulation2**

*Room: Aula Panamericana, Thursday 14:00-15:30*

Session chair: Christian P. Rojas Romero

*Abstract ID 291 (Aula Panamericana, Thursday 14:00-14:20)*

### **Aplicación de minería de procesos para el análisis del proceso de despacho de producto terminado en un almacén de la industria automotriz. Evaluación de conformidad mediante simulación de eventos discretos**

*Juan Carlos Alonso Torres\** (Facultad de Ingeniería UAEMex) [jcalonsot001@profesor.uaemex.mx](mailto:jcalonsot001@profesor.uaemex.mx) Jenaro Nosedal Sánchez (Universidad de las Américas Puebla UDLAP); Javier García Gutiérrez (Facultad de Ingeniería UAEMéx)

La importancia de mejorar la eficiencia en los procesos de despacho dentro del almacén radica su impacto en retrasos para el abastecimiento de pedidos que genera y las consecuencias económicas asociadas. Para ejecutar el proceso mencionado de manera eficiente y así alcanzar el objetivo de la empresa, es necesario identificar si existe mezcla en las órdenes generadas por el cliente y tomando esta clasificación como punto de partida, poder distribuir los insumos de forma óptima dentro del almacén. El presente trabajo se enfoca en analizar la ejecución actual del proceso dentro de una industria del giro automotriz, como parte de este análisis se genera la información sobre las mezclas de productos existentes en las órdenes y por ende se obtiene la información base para la organización de los productos dentro del almacén, en ambos casos se busca identificar el comportamiento real del proceso y no una especulación definida a partir de supuestos de cómo debería comportarse. El presente trabajo reporta la fase de conformidad partiendo de datos analizados en una primera etapa. Esta segunda etapa se instrumenta a través de la construcción y análisis de un modelo de simulación basado en eventos discretos, modelo que se confronta con los datos e indicadores del comportamiento observado para validar que el modelo obtenido del proceso, es una reproducción fiable que produce salidas acordes al comportamiento del sistema real. Esta fase se realiza con la finalidad de reducir riesgos en la toma de decisiones, la simulación es una técnica fundamental en la actualidad para el análisis y mejora de procesos. Dentro del enfoque de minería de procesos, resulta una herramienta efectiva para validar que el proceso presenta el comportamiento planificado o bien para construir escenarios operativos alternos que permitan identificar elementos y parámetros críticos para alcanzar el desempeño deseado. Palabras claves Simulación, proceso de recolección, mejora continua, minería de procesos.

*Abstract ID 323 (Aula Panamericana, Thursday 14:20-14:40)*

### **Evaluación y propuesta de mejora del proceso de limpieza en húmedo en granjas de pollo mediante simulación con software SIMIO**

*Edgar Hipolito Gonzalez Marini\** (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco) [m223z2004@alum.huatusco.tecnm.mx](mailto:m223z2004@alum.huatusco.tecnm.mx) Miguel Ángel Solís

Jiménez (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco); Martín González Sóbal (TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Huatusco); Ana Laura Piña Martínez (TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco)

Actualmente las industrias están en constante búsqueda de la mejora de procesos que los lleve a lograr una mayor rentabilidad. De acuerdo con el centro de aprendizaje de IBM Cloud, el análisis de riesgo forma parte de todas las decisiones que tomamos día a día, nos enfrentamos continuamente a la incertidumbre, la ambigüedad y la variabilidad y aunque tenemos acceso a la información sin precedentes, no podemos predecir con precisión el futuro. Por ello la simulación nos permite ver todos los resultados posibles de las decisiones que tomamos y evaluar el impacto del riesgo, lo cual nos permite tomar mejores decisiones en condiciones de incertidumbre. (IBM, 2020). El proceso de pollo de engorda dentro de cualquier empresa avícola es muy importante ya que es donde se ve expresada la rentabilidad de la empresa generada por la venta de la materia prima que se inició su transformación en los procesos anteriores. En el proceso de pollo de engorda la limpieza en húmedo de instalaciones es considerada como el inicio de una nueva parvada, en la cual debemos de asegurar una correcta limpieza, logrando la eliminación de virus o bacterias. El presente trabajo evalúa y propone una reingeniería al proceso de limpieza en húmedo mediante la utilización del software SIMIO, se plantea la reducción de tiempos de lavado mediante los diversos escenarios que nos proporciona SIMIO, así mismo cada mejora al proceso se valida con muestreos de luminómetro (detección de materia orgánica) e hisopados microbiológicos (detección de bacterias) de manera que se asegure la eficiencia del proceso. Así mismo se utilizó el método REBA el cual evalúa la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que pueden ocasionar desórdenes traumáticos acumulativos debido a la carga postural dinámica y estática considerando las partes superior e inferior del cuerpo. Todo esto en búsqueda de la estandarización y optimización de procesos que nos lleve a maximizar la rentabilidad de la empresa.

*Abstract ID 219 (Aula Panamericana, Thursday 14:40-15:00)*

### **Análisis de la cadena de producción de cocaína en Colombia: una visión desde la simulación**

Sara M García\* (Universidad de Antioquia) [sara.garcia1@udea.edu.co](mailto:sara.garcia1@udea.edu.co) Valeria González (Universidad de Antioquia); Maryely I Rubio (Universidad de Antioquia); Laura M Cardenas (Universidad de Antioquia)

La lucha contra el consumo de cocaína emerge como una de las principales preocupaciones para varios gobiernos por sus implicaciones en la sociedad. Datos recientes indican que el suministro y uso de cocaína está aumentando. Siendo América del Sur, específicamente Colombia, la principal fuente de suministro para diversos mercados internacionales. En Colombia, los cultivos de coca han alcanzado niveles históricos, convirtiéndose en el mayor productor de hoja de coca en el mundo, el cual es un insumo básico para la producción de cocaína, llevando consigo un aumento en la producción potencial de esta sustancia. Este fenómeno está relacionado con una serie de complejas dinámicas sociales, culturales y económicas, que dificultan su abordaje. A pesar de los esfuerzos gubernamentales, las políticas implementadas han mostrado limitaciones significativas, exacerbando la situación. Por lo tanto, la presente investigación se centra en caracterizar estas dinámicas y modelar la cadena de producción de cocaína en Colombia mediante un modelo de simulación bajo el paradigma de dinámica de sistemas. Este modelo conecta los principales eslabones, desde el cultivo de la hoja de coca hasta la obtención del producto final, el clorhidrato de cocaína. Permitiendo así tener una comprensión más amplia de la estructura del sistema, lo que se traduce en entender que las partes están conectadas y además la manera como las partes interactúan entre sí determina el comportamiento del sistema. Este enfoque de simulación busca proporcionar nuevas herramientas y perspectivas a los formuladores de políticas frente al objetivo de avanzar hacia nuevas recomendaciones en la lucha contra el avance de los cultivos ilícitos de coca y la industria de la cocaína.

*Abstract ID 130 (Aula Panamericana, Thursday 15:00-15:20)*

### **Aplicación de la Simulación de Sistemas en el Proceso de Otorgamiento de Créditos de una Financiera**

Christian P Rojas Romero\* (Universidad Nacional Mayor de San Marcos) [christianpaul.rojas@unmsm.edu.pe](mailto:christianpaul.rojas@unmsm.edu.pe)

La empresa en estudio, a solicitud de lo exigido por la entidad que regula las operaciones financieras en Perú, tuvo que modificar los parámetros de control en el proceso de otorgamiento de créditos. En ese contexto, se presenta el problema de determinar la cantidad de personal y los valores de los parámetros asociados al riesgo crediticio que cumplan lo solicitado sin que ello disminuya la eficiencia del proceso, donde los tiempos de ciclo son una ventaja competitiva de la empresa ya que incrementan los préstamos realizados y la calidad de servicio. El presente trabajo busca aplicar la simulación de sistemas con el objetivo de obtener la cantidad de personal y el valor de los parámetros que mantengan una eficiencia aceptable para la empresa alineado a lo solicitado por el ente regulador. Para realizar la aplicación se obtuvo información de campo, datos y documentación del proceso de otorgamiento de créditos. El proceso inicia con la llegada de solicitudes de crédito por parte de los clientes en la red de agencias. En cada atención se registran los datos del cliente, garantía y monto de préstamo solicitado. Un porcentaje de las solicitudes las revisa el Área de Riesgos, quienes aportan información para definir el monto final de préstamo. Se estableció las métricas que la empresa desea mantener en sus indicadores de eficiencia. Se analizó los tiempos entre llegadas de los clientes y tiempos de servicio del proceso donde se obtuvo distribuciones de probabilidad asociadas a dichos tiempos. Se construyó el modelo de simulación del proceso en el software Arena, donde se validó y verificó los resultados para garantizar que el modelo sea viable de utilizar. Se elaboró escenarios con variaciones en el porcentaje de créditos que revisa Riesgos y en la cantidad de personal de dicha Área. Con los resultados se determinó el valor en los parámetros y la cantidad de personal idóneo que no afecte la eficiencia del proceso y se cumpla con lo solicitado por la entidad reguladora.

## **6.56 Machine Learning3**

*Room: Diseño2, Thursday 16:00-17:30*

Session chair: Tatiana A. Castillo-Jaimes

*Abstract ID 212 (Diseño2, Thursday 16:00-16:20)*

### **A Contribution to the State of the Art in Financial Analytics based on available academic data**

Carlos Rodríguez\* (UNAM) [crc@unam.mx](mailto:crc@unam.mx)

The present work aims to give some order to the academic literature available on Quantitative and Computational Finance, trying at the same time to contribute to the State of the Art in this discipline. Much work in Artificial Intelligence for Finance has been reported; however, considerable research in Quantitative Finance continues to be developed, to the point of competing with Artificial Intelligence proposals in terms of dissemination of data. About analytical methods, the following stand out, among others: Extreme Value Theory (EVT), a theory that models and measures events that occur with very small probability, which in the financial realm are known as Black Swans; Hidden Markov Models (HMM), statistical models that can be used to model the behaviour of a partially observable system, making them suitable for modelling stock prices based on historical data and; more recently, Regime Change Detection, which is a new way of summarizing price changes in the market, aiming at sampling prices when the market changes direction instead of sampling prices at fixed intervals. Artificial intelligence (AI) is one of the most promising new technologies in Finance. Used to assist Financial Analytics, AI systems can handle more information, react more quickly and make more consistent decisions than a group of human experts. The advent of Machine Learning (ML) meant for Financial

Analytics the possibility of increasing the effectiveness of the Asset Allocation task, thanks to a class of Supervised Learning models called Decision Trees, which are used as an asset classification tool and are undoubtedly one of the most successful ML applications in Finance. Recently, uses of Deep Learning (DL) are being explored for tasks such as price prediction via LSTM Neural Networks, and even more recently, Ensemble Learning models are beginning to be explored. With such models, it is possible to make more robust predictions against the unpredictable nature of financial data.

*Abstract ID 123 (Diseño2, Thursday 16:20-16:40)*

### Mejorando las políticas de incentivos para vendedores: Un enfoque de uplift basado en rentabilidad

Sebastian Maldonado\* (University of Chile)

[semaldonad@fen.uchile.cl](mailto:semaldonad@fen.uchile.cl) Carla Vairetti (Universidad de los Andes); Raimundo Vargas (Universidad de los Andes); Catalina Sánchez (Universidad de los Andes); Andrés García (Universidad de los Andes); Guillermo Armelini (Universidad de los Andes)

Crear un entorno propicio para compartir información del cliente dentro de una empresa puede aumentar considerablemente la rentabilidad, pero también requiere un esquema de compensación adecuado para proporcionar los incentivos correctos para la venta cruzada. A diferencia de la mayoría de los estudios de venta cruzada que se centran en enfoques orientados al producto o centrados en el cliente, nuestro framework analiza la influencia de los gerentes de ventas al referir o recomendar clientes de una unidad de negocio a otra dentro de la empresa, en la que el remitente prevé una venta potencial. Se proponen modelos de uplift sensibles al costo para predecir qué relaciones entre vendedores deben ser alentadas en función de su probabilidad de venta cruzada exitosa, es decir, cuando un cliente acepta el producto financiero sugerido por los gerentes de ventas. Si bien existen varios enfoques impulsados por el beneficio para la clasificación estándar, ninguno está específicamente relacionado con los esfuerzos de venta cruzada o la analítica de la fuerza laboral. El conjunto de datos para este estudio se recopila de un grupo financiero chileno e incluye información relevante sobre los vendedores. El grupo financiero ha desarrollado un sistema para incentivar las recomendaciones de clientes proporcionando recompensas monetarias a los remitentes en caso de que sus referencias resulten en una venta de un nuevo producto lograda por el gerente del receptor. Explorando varios clasificadores de aprendizaje automático, observamos una mejora significativa sobre el enfoque actual, que muestra un uplift por debajo de 0.01. Finalmente, mostramos que seleccionar el mejor clasificador con métricas de beneficio resulta en una mejora del 31.6% en términos de beneficio promedio del cliente. Esto enfatiza la importancia de definir un esquema de compensación adecuado e integrarlo en el proceso de modelado.

*Abstract ID 125 (Diseño2, Thursday 16:40-17:00)*

### Modelos de Aprendizaje de Máquinas para Analizar el Éxito de Publicaciones en Redes Sociales

Sebastian Maldonado\* (University of Chile)

[semaldonad@fen.uchile.cl](mailto:semaldonad@fen.uchile.cl) Carla Vairetti (Universidad de los Andes); Sebastian Maldonado (University of Chile)\*; Juan Carlos Gubbins (Universidad de los Andes)

Con el fin de mantenerse competitivos en este negocio, los canales de televisión han recurrido al gran volumen de datos que almacenan para realizar diferentes análisis y así lograr tomar mejores decisiones a nivel empresarial. Estas decisiones se fundamentan en diversas fuentes de datos, incluyendo el rating televisivo, el contenido audiovisual y el contenido generado en redes sociales. En este estudio, se presenta un framework novedoso para analizar y predecir el éxito de publicaciones (engagement) en redes sociales utilizando modelos de Machine Learning. A través de la aplicación de técnicas avanzadas de inteligencia artificial como análisis de texto y aprendizaje automático, el enfoque permite identificar factores clave que influyen en la interacción y participación de los usuarios en plataformas como Facebook e

Instagram. La principal contribución científica radica en la extracción automática de conocimiento sobre los factores que influyen en el éxito de las publicaciones, como la mención de figuras televisivas y otras características de la estructura del post, resultando en un análisis novedoso que puede aplicarse a otros medios de comunicación. Utilizando datos de un canal de televisión y multiplataforma chilena, se incorporaron variables generadas por inteligencia artificial, como el análisis de sentimientos y el reconocimiento de entidades, para predecir el éxito de las publicaciones basándose en el contenido de los posts o entradas. Los modelos abarcan desde regresiones lineales múltiples hasta algoritmos de aprendizaje de máquinas. Los resultados destacan la eficacia de combinar múltiples técnicas de modelado y la importancia de seleccionar adecuadamente las variables influyentes. Este enfoque no solo mejora significativamente la capacidad analítica y predictiva respecto a métodos convencionales, sino que también ofrece información valiosa para optimizar estrategias de contenido en redes sociales, potenciando la interacción con la audiencia.

*Abstract ID 176 (Diseño2, Thursday 17:00-17:20)*

### Aplicación del Multimodal Deep Learning para la Predicción y Análisis del Tamaño de Incendios Forestales Individuales en Chile

Tatiana A. Castillo-Jaimes\* (Universidad de Chile)

[tatiana.a.castillo@gmail.com](mailto:tatiana.a.castillo@gmail.com) Alejandro Miranda (Universidad de La Frontera); Andrés Weintraub (Universidad de Chile); Felipe De La Barra (Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería); Lucas Murray (Universidad de Chile); Alonso Leal (Universidad de Chile)

Este trabajo presenta un enfoque innovador utilizando redes neuronales profundas para predecir el tamaño de los incendios forestales individuales en Chile, donde estos desastres poseen un impacto significativo tanto ecológico como económico. El modelo implementado es de tipo multimodal late fusion, diseñado para integrar dos tipos distintos de datos de entrada: 1) imagen de cobertura terrestre previa al incendio con 9 tipos de coberturas diferentes entre bosque nativo, cuerpos de agua, matorrales, y suelo desnudo entre otros con una resolución espacial de 30 metros por pixel y 2) datos estructurados que incluyen información meteorológica del día del inicio del incendio e índices de peligro de incendio. La fusión tardía de estos datos permite al modelo capturar y combinar eficazmente las características visuales y numéricas para mejorar la precisión de las predicciones. Después de la fase de predicción, el estudio se centra en la interpretación de los pesos de la red mediante herramientas avanzadas de explicabilidad de modelos, buscando identificar las variables más influyentes en el tamaño de los incendios. Este análisis es crucial para entender los umbrales y la relevancia de diversos controladores ambientales y humanos en la dinámica del fuego. Con este trabajo, aspiramos a contribuir al campo de la investigación de operaciones aplicada a la gestión de desastres, proporcionando insights valiosos que podrían orientar las decisiones políticas y operativas para el manejo de incendios forestales. Destacamos, además, la importancia de modelos predictivos interpretables, esenciales para la adaptación y aplicación en diversas configuraciones geográficas.

## 6.57 Production Planning1

*Room: G22, Friday 09:00-10:30*

Session chair: José Emmanuel Gómez Rocha

*Abstract ID 251 (G22, Friday 09:00-09:20)*

### Optimización de gastos de personal enfocado a un área de servicios tecnológicos

Gabriela A Valerio\* (UA de C)

[gabriela.valerio@uadec.edu.mx](mailto:gabriela.valerio@uadec.edu.mx) Jessica Beltrán (Universidad Autónoma de Coahuila); IRMA DELIA

## GARCIA-CALVILLO (UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA)

Las finanzas están ligadas a todas las empresas y tienen como objetivo obtener las mayores ganancias usando la menor cantidad de recursos. Actualmente las empresas viven un entorno cambiante lo cual vuelve complejo lograr este objetivo. La problemática que se presenta se enfoca en una compañía de servicios tecnológicos ubicada en el norte de México, que se encuentra en una etapa de incremento en la demanda de sus servicios, lo cual ha implicado la necesidad de nuevas contrataciones, impactando directamente en su costo más importante que es el relacionado con el personal. Se busca crear un modelo matemático de optimización para la asignación de tareas a empleados buscando minimizar el costo anual incurrido en salario del personal. Los beneficios serán mayores ingresos para la empresa a través de una reducción de costos, servicio de calidad a precio competitivo para los clientes y una carga de trabajo justa y equilibrada para los empleados. El modelo matemático que se propone es un modelo de programación entero-mixto para la asignación óptima de tareas a empleados que resulte en el menor costo, considerando la habilidad y costo del empleado, así como los tiempos de procesamiento de cada tarea para cada tipo de empleados. Y la restricción de realizar todas las diferentes tareas requeridas para cumplir con los proyectos que se ha comprometido la empresa, así como respetar la jornada máxima de trabajo de los empleados. Se cuenta con datos reales de la empresa para validar el modelo. Resultados de la implementación de un modelo piloto para un mes a un área de la compañía de 54 empleados, muestra que el uso de este modelo matemático reduce en un 6.26% el costo relacionado a empleados en comparación con la asignación real del año anterior.

*Abstract ID 193 (G22, Friday 09:20-09:40)*

## Planeación de la producción en el área de imprenta de una casa editorial

*Rogelio Lizárraga-Escobar\* (ITESM) a01742161@itesm.mx*  
Cecilia Palau-Dávila (Tecnológico de Monterrey); Fernando Elizalde (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey)

En nuestro trabajo se presenta un modelo de optimización para el proceso de imprenta para una importante casa editorial de América Latina, minimizando el costo de producción e inventario. Actualmente, la mayoría de las PyMEs planean sus actividades con base en la experiencia y no mediante técnicas analíticas que les permitan incrementar sus utilidades. El problema de producción hizo uso de un modelo de programación lineal, donde se consideró el costo de producción, demanda por título de libro, días de inventario y días de penalización por no entregar a tiempo, garantizando que solo se produjera la demanda de un tipo de libro durante un período. El modelo matemático resultante fue implementado y resuelto a optimalidad, encontrando la forma óptima de organizar la producción, de tal manera que el tiempo de inventario y el tiempo de entregas tardías sean mínimos, reduciendo con ello los costos.

*Abstract ID 163 (G22, Friday 09:40-10:00)*

## An order-centric model formulation for customer order planning

*Cristian D Palma\* (Universidad del Desarrollo)*  
*cristianpalma@udd.cl* Francisco P. Vergara (Universidad del Bio-Bio)

In many industries, companies often face multiple products customer orders from their clients. Traditionally, to simplify optimization processes, these orders are broken down, and their products are merged with others from different orders to fit into conventional production models. In this presentation, we propose a novel production planning model that emphasizes the preservation of order integrity, thereby providing enhanced control and scheduling flexibility. By retaining the individuality of orders, the new formulation opens avenues for early completion, thereby optimizing resource allocation. Through a case study conducted in a sawmill setting, we describe the formulation

of this model and discuss its benefits and drawbacks.

*Abstract ID 15 (G22, Friday 10:00-10:20)*

## Efficient Aggregate Production Planning Policies Based on On-Demand Warehousing Strategies: A Nearshoring Perspective Under Uncertainties

*José Emmanuel Gómez Rocha\* (Tecnológico de Monterrey)*  
*emmanuel.gr@tec.mx* Eva Selene Hernández Gress (Tecnológico de Monterrey); Cipriano Santos (Tecnológico de Monterrey); Fernando Camacho (Tecnológico de Monterrey)

In this research, we investigate the integration of aggregate production planning with warehouse capacity management to address the challenges posed by uncertain demand. Typically, on-demand warehousing decisions are overlooked in existing production planning research. The motivation for this study arises from practical challenges in warehouse capacity management, exacerbated by the nearshoring phenomenon in contemporary business practices. We concentrate on multi-site aggregate production planning for a single product family. A Markov Decision Process is employed to model demand uncertainty. Due to the inherently complex and stochastic nature of the problem, we utilize a Stochastic Dual Dynamic Programming approach to solve it. This approach proves effective in deriving an optimal implementable policy. Our methodology provides decision-makers with a robust data-driven tool, facilitating more strategic decisions in scaling warehouse and labor capacity. A key finding of our study, validated through rigorous statistical testing, is the superiority of our model in dealing with uncertainty compared to traditional predictive control models. This is quantitatively evidenced by the improved gross margins achieved through our proposed approach, underscoring the significance of embracing uncertainty in production planning models.

## 6.58 Environment1

*Room: Aula Panamericana, Friday 09:00-10:30*

*Session chair: Irma-Delia Rojas-Cuevas*

*Abstract ID 94 (Aula Panamericana, Friday 09:00-09:20)*

## Estudio de eficiencia de la Responsabilidad Extendida del Productor junto a otras políticas de competencia imperfecta

*Isabel F Triviño Ortega\* (Universidad de Santiago de Chile)*  
*Isabel.trivino@usach.cl* Jorge Zamorano-Ford (USACH); Fabián Fuentes González (Universidad de Santiago de Chile); Rocío J Gajardo (Universidad de Santiago de Chile)

El objetivo de esta investigación es proveer al regulador de una herramienta para la toma de decisiones en el tema de gestión de residuos. Estudiamos tres casos, en donde se aplican y comparan distintas políticas de gestión de residuos, focalizándonos principalmente en la Responsabilidad Extendida del Productor (REP). Se proporciona una comparación en términos de eficiencia, es decir, cual de ellas produce el mayor bienestar social. En un régimen REP, la responsabilidad del tratamiento, reciclaje y eliminación es de las empresas productoras. Este tipo de políticas funciona de forma diferente a los instrumentos económicos clásicos, como los impuestos y subsidios. Primero, estudiaremos la REP de forma individual, como caso base para comprender su funcionamiento e interacción entre consumidores y productores. También, profundizaremos en las diferentes formas de organización con poder de mercado. Esta corresponde a empresas valorizadoras de residuos que funcionan de forma privada. Segundo, analizaremos la implementación conjunta de la REP y un sistema de Bonificación Penalización. Este último equivalente a un subsidio e impuesto respectivamente. Finalmente, estudiaremos la REP junto

con la implementación de impuestos sobre las emisiones producidas por la actividad económica y el dumping de los residuos. Asumiremos un duopolio verticalmente diferenciado en calidades, donde los consumidores muestran su preferencia por productos de calidad alta y baja. Todo esto con el fin de determinar cuál de estos escenarios produce un mayor bienestar social. Es un hecho que bajo competencia imperfecta la REP no es eficiente. Es por esto que es necesario explorar alternativas que apoyen a la REP. La eficiencia mejora con el sistema de Bonificación y penalización, debido principalmente por la bonificación que reciben los productores. También, al aplicar el impuesto sobre las emisiones en conjunto a la REP se mejora la eficiencia, pero no contribuye directamente al desempeño de la REP.

*Abstract ID 268 (Aula Panamericana, Friday 09:20-09:40)*

### **Causality, Cointegration, and Spillover Volatility between Carbon Credit and Crude Oil, Natural Gas, and Coal Price Returns: An Empirical Comparative Analysis**

*Andre Assis De Salles\** (Federal University of Rio de Janeiro) [aadesalles@gmail.com](mailto:aadesalles@gmail.com) Renato Lima (Federal University of Rio de Janeiro)

Concern about global warming has been the subject of establishing policies to reduce and control the emission of greenhouse gases, which involve the use of fossil fuels, coal, oil and natural gas, the primary sources of emission. Among the fruits of this concern are incentives for the production of renewable energy and the growth of the carbon credits market, which allow the emission of CO<sub>2</sub>, increasing the cost of fossil energy sources. The EU ETS is a significant indicator of carbon credit quotations traded on organized markets. Regarding fossil fuels, Brent oil, Henry Hub gas, and the coal quoted in the Australia market. This work aims to study the interaction between the quotation returns from carbon credit contracts and the returns on prices of the fossil fuel markets mentioned. Regarding the causality between price variations of carbon credits and each of the three fossil fuels, bivariate models were constructed that also make it possible to infer impulse response functions from the shocks of innovations in the price returns of each of these variables and the decomposition of its variations. Jointly, the VAR models for the mean and the bivariate GARCH models were estimated to obtain correlations between the carbon credit and each fossil fuel or the contagion behavior between the price returns studied. The data used are the weekly prices, in US\$, from January 2012 to August 2023. The results indicate the cointegration and causality hypotheses between the EU ETS and each fossil fuel return acceptance. It can be inferred that the estimates of the respective estimated dynamic correlations are statistically significant, indicating spillover volatility between returns on the prices of carbon credits and each fossil fuel. It should be added that the coefficients of the correlations between the quotations of carbon emissions credits and each of the fossil fuels varied over time around 0.0786, 0.0167 and 0.069, respectively, for crude oil, natural gas and coal.

*Abstract ID 31 (Aula Panamericana, Friday 09:40-10:00)*

### **El impacto ambiental del impuesto al carbono en Chile**

*Reimier Fernández-López\** (Universidad de Concepción) [rfernandez@udec.cl](mailto:rfernandez@udec.cl) Cristian Mardones (Universidad de Concepción); Jean Paul Navarrete (Universidad de Concepción)

El actual escenario de urgencia del cambio climático es fundamental evaluar la implementación de nuevos instrumentos económicos destinadas a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (Vrolijk Sato, 2023; Lin et al. 2021). Sin embargo, la cantidad de estudios que analizan la evaluación de impacto de mecanismos de carbon pricing es limitada. Esta escasez de estudios se atribuye a la relativa novedad de estos instrumentos económicos, así como también, a la concentración predominante en Europa (Lilliestam et al., 2021; Vrolijk Sato, 2023; Zhang, 2021). Además, la evaluación de impacto requiere pe-

riódos significativos de tiempo antes y después de la implementación de las políticas analizadas, lo que añade una capa adicional de complejidad a la investigación en este campo. En este contexto, Chile se destaca como un pionero en América Latina, al introducir un impuesto al carbono en 2017, estableciendo una tasa impositiva inicial de 5 USD/tCO<sub>2</sub> con el objetivo de reducir las emisiones (Mardones, 2023). En la presente investigación empírica, se aplicó el método de diferencia-en-diferencias (DiD) con enfoque bayesiano para evaluar el impacto del impuesto al carbono chileno sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector eléctrico. La metodología de diferencia-en-diferencias tradicional compara los cambios en el resultado de interés antes y después de la implementación de la intervención entre el grupo de tratamiento y el grupo de control. Sin embargo, el enfoque bayesiano del DiD utiliza técnicas de inferencia bayesiana para realizar estas comparaciones y proporcionar estimaciones de probabilidad de los efectos causales (van de Schoot et al., 2021; Ishwaran Rao, 2005). El DiD bayesiano mostró que el impuesto al carbono disminuyó las emisiones de CO<sub>2</sub> en promedio 115827,0 tCO<sub>2</sub> con un intervalo de credibilidad del 95% de -152666,1 tCO<sub>2</sub> a -71340,0 tCO<sub>2</sub>. El resultado implica que el impuesto al carbono resulta ser un mecanismo efectivo para mitigar las emisiones de CO<sub>2</sub>.

*Abstract ID 56 (Aula Panamericana, Friday 10:00-10:20)*

### **Una propuesta para la reducción de Emisiones de dióxido de carbono en la reposición de inventario: Mitigando el cambio climático**

*Irma-Delia Rojas-Cuevas\** (TECNM/Instituto Tecnológico de Puebla) [irma.rojas@puebla.tecnm.mx](mailto:irma.rojas@puebla.tecnm.mx) Santiago-Omar Caballero-Morales (Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP)); Diana Sánchez-Partida (UPAEP University); José-Luis Martínez-Flores (Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP))

Los cambios climáticos resultantes de las emisiones contaminantes pueden clasificarse en: desastres provocados por el hombre y desastres de evolución lenta. El propósito de este trabajo es proponer una metodología para mitigar el desastre provocado por el hombre con respecto al contaminante más crítico, las emisiones de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>). El CO<sub>2</sub> proviene de diferentes fuentes; una de esas fuentes son los vehículos. De acuerdo con los datos del Parlamento Europeo, en 2019 los vehículos terrestres contribuyeron con el 19.35% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este estudio propone una medida para mitigar estas emisiones. La propuesta es un nuevo modelo para considerar la emisión de CO<sub>2</sub> al calcular la cantidad de lote económico bajo el modelo de revisión continua (Q, R) para la planificación de inventarios, el cual es puesto a mediante un caso de uso, donde primero se calcula el camino más corto; enseguida se calcula la cantidad de lote económico bajo el modelo de revisión continua sin CO<sub>2</sub>, con el CO<sub>2</sub> más bajo, y con CO<sub>2</sub> máximo para obtener una comparativa utilizando el nuevo modelo; y finalmente se obtiene la carga en el vehículo mejorando el aprovechamiento del espacio de los contenedores buscando utilizar menos vehículos para obtener menos emisiones de CO<sub>2</sub>. El nuevo modelo para gravar las emisiones de CO<sub>2</sub> y la propuesta de carga de vehículos permiten a las empresas elegir la mejor estrategia para abastecer su inventario bajo un modelo de revisión continua. Este enfoque incluye la gestión eficiente de los vehículos para reducir su cantidad necesaria en circulación, disminuyendo así las emisiones de dióxido de carbono y, en consecuencia, el impacto ambiental.

## **6.59 Simulation3**

*Room: Aula Magna, Friday 09:00-10:30*

Session chair: Marco A Montufar

*Abstract ID 132 (Aula Magna, Friday 09:00-09:20)*

## Sistemas de líneas de espera, multiproducto y con límite en el tamaño de la fila

Salvador Hernández - González\* (*Tecnológico Nacional de México en Celaya*) [salvador.hernandez@itcelaya.edu.mx](mailto:salvador.hernandez@itcelaya.edu.mx)  
Idalia Flores - de la Mota (UNAM); Quetzalli Atlatenco - Ibarra (UVEG)

En los sistemas formados por sistemas de líneas de espera es común asumir un espacio ilimitado para la fila de clientes o piezas, pero esta condición no siempre se cumple. La asignación de lugares en la fila (Buffer Allocation Problem, BAP) ha sido ampliamente estudiado en los últimos años. Se trata de un problema combinatorio en donde se deben asignar los espacios disponibles para el inventario en proceso en un sistema de producción o bien un servicio como un sistema de vacunación. Las variantes que con mayor frecuencia se aplican son maximizar la tasa de producción o tasa de salida, minimización de la cantidad de inventario en proceso, minimización del tiempo de ciclo. Debido a la naturaleza estocástica del problema, tanto TH, WIP y TC no cuentan con una expresión analítica, por el contrario, son función de una serie de parámetros de tipo aleatorio lo que incrementa la complejidad para determinar una solución al problema. En este sentido una estrategia es emplear simulación y diseño de experimentos para obtener un metamodelo del de la tasa de salida en función de los lugares asignados, posteriormente, mediante programación matemática se obtiene la asignación óptima de espacios frente a las estaciones. Cabe señalar que la mayor parte de los trabajos se enfocan en sistemas con un solo producto y la literatura dedicada a sistemas con dos o más productos es escasa. En este trabajo se presenta un análisis del problema de asignación de espacios considerando tres clases de producto comparando la asignación con la solución para el caso en donde se considera un producto a la vez. Mediante un modelo de simulación en ARENA, diseño de experimentos se obtienen los metamodelos, finalmente mediante programación matemática se obtiene la asignación óptima de los lugares. Este trabajo es de interés para los responsables del diseño de sistemas de producción, Administradores y supervisores que tienen bajo su responsabilidad esta clase de sistemas.

*Abstract ID 308 (Aula Magna, Friday 09:20-09:40)*

## Evaluación y mejora del proceso limpieza de llenado de garrafones de una purificadora de agua, mediante la simulación con software SIMIO

Luz Del Carmen Rivera-Sanchez\* (*TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco*) [m223z2013@alum.huatusco.tecnm.mx](mailto:m223z2013@alum.huatusco.tecnm.mx) Miguel Ángel Solís Jiménez (*TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco*); Adán Cabal-Prieto (*TecNM Instituto Tecnológico Superior de Huatusco*); Martín González Sóbalo (*TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Huatusco*)

De acuerdo con la CEPAL el desarrollo industrial continúa siendo un centro de innovación tecnológica, dinamismo en el comercio internacional y crecimiento económico. Los países enfrentan dificultades importantes para avanzar en su desarrollo industrial, en particular por la débil implementación de políticas de cambio estructural que impulsen sectores modernos y de alta productividad (CEPAL, 2023). Para que la empresa adquiera una estructura de procesos, procedimientos y control de actividades diarias, son necesarias herramientas que ayuden a lograr objetivos y requerimientos de la misma empresa. Dentro de las herramientas consideradas para el desarrollo y crecimiento de la organización se encuentra la simulación. Se comprende que simular es reproducir el comportamiento de un sistema real mediante un modelo que funciona de manera similar. El presente trabajo analiza y evalúa el proceso de limpieza y llenado de garrafones, mediante simulación con el uso del software SIMIO, esto con la finalidad de reducir tiempos de espera de los clientes y a su vez hacer más eficiente el proceso de limpieza y llenado de los garrafones, para ofertar al cliente un producto y servicio eficaz. El modelo de simulación desarrollado tiene la particularidad de que maneja por una parte unidades discre-

tas como lo son los garrafones, pero estos son llenados con agua que es una entidad de características continuas, por lo tanto, el modelo utiliza por una parte la librería estándar del Software SIMIO para representar diferentes partes del proceso, pero también utiliza para el tratamiento del agua la librería de flujo. La combinación de estas dos librerías (estándar y flujo) son un aporte interesante del trabajo desarrollado. Los modelos propuestos de simulación beneficio la toma de decisiones, ya que permitió interactuar con una versión realista la situación actual del área de trabajo, logrando reducir el tiempo de espera del cliente en promedio de 12 a 5.68 minutos mas menos 46 segundos.

*Abstract ID 133 (Aula Magna, Friday 09:40-10:00)*

## Optimización del transporte de materiales en almacenes multi producto

Maria Guadalupe Uribe Centeno\* (*Tecnológico Nacional de México en Celaya*) [m2303010@itcelaya.edu.mx](mailto:m2303010@itcelaya.edu.mx) Salvador Hernández - González (*Tecnológico Nacional de México en Celaya*); ANA VALERIA Monzón (*Tecnológico Nacional de México en Celaya*)

Desde el inicio de la automatización, el uso de robots móviles para el transporte eficiente de materiales ha ido incrementando gradualmente, convirtiéndose en un elemento esencial de la industria 4.0 (Sasamoto Cruz, Velázquez Guerrero, Gutiérrez Calderón, Méndez Alba, Goñi Tascón, 2021). El movimiento de materia prima, componentes, herramientas y productos terminados es uno de los tópicos principales en la optimización de procesos y líneas de producción (Urzúa, Mendoza, González, 2019). En este trabajo se llevó a cabo la optimización del transporte de materiales en un caso de estudio con almacenes multiproducto donde vehículos autónomos (AGVs) entregan piezas pequeñas desde los almacenes a cuatro talleres en una planta con el fin de incrementar la tasa de salida (Th). Se construyó un modelo de simulación en ProModel del sistema; para analizar el sistema, se construyó un diseño de experimentos factorial completo con 2 factores (A y B) con 2 niveles cada uno, con tres réplicas y tres puntos centrales y un análisis de regresión (ANOVA). Este paso permitió identificar los parámetros o variables estadísticamente significativas sobre la tasa de salida (Th) del sistema analizado y obtener el metamodelo de regresión para Th con interacciones y términos cuadráticos. Finalmente, se utilizó el metamodelo para con programación no lineal entera mixta y el software Lingo, encontrar la cantidad óptima de vehículos que maximizan la tasa de salida (Th). Tras la optimización, se encontró que, la cantidad de vehículos requeridos son 6 vehículos con una velocidad de 300 pies por minuto (ft/min) para obtener la máxima tasa de salida (Th). Esta información será útil para las personas responsables de la toma de decisiones al momento de incorporar sistemas de vehículos guiados automatizados en los sistemas de producción para el traslado de mercancías, piezas, herramientas y/o accesorios.

*Abstract ID 33 (Aula Magna, Friday 10:00-10:20)*

## Comparative Study of Monte Carlo Simulation and the Deterministic Model to Analyze Thermal Insulation Costs

Marco A Montufar\* (*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*) [montufar@uaeh.edu.mx](mailto:montufar@uaeh.edu.mx) Yoelvis Prida-Galindo (*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*); Mayra Rivera (*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*); Erick Anaya (*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*)

The main purpose of this paper is to implement a simulation model in @RISK™ and study the impact of incorporating random variables, such as the degree days in a traditional deterministic model, for calculating the optimum thickness of thermal insulation in walls. Currently, green buildings have become important because of the increasing worldwide interest in reducing environmental pollution. One method of saving energy is to use thermal insulation. The optimum thickness of these insulators has traditionally been calculated using deterministic models. With the information from real data using the

degree days required in a certain zone in Palestine during winter, random samples of the degree days required annually in this town were generated for 10, 20, 50, and 70 years. The results showed that the probability of exceeding the net present value of the cost calculated using deterministic analysis ranges from 0% to 100%, without regard to the inflation rate. The results also show that, for design lifetimes greater than 40 years, the risk of overspending is lower if the building lasts longer than the period for which it was designed. Moreover, this risk is transferred to whoever will pay the operating costs of heating the building. The contribution of this research is twofold: (a) a stochastic approach is incorporated into the traditional models that determine the optimum thickness of thermal insulation used in buildings, by introducing the variability of the degree days required in a given region; (b) a measure of the economic risk incurred by building heating is established as a function of the years of use for which the building is designed and the number of years it is used.

## 6.60 Logistics7

*Room: CIAC1, Friday 09:00-10:30*

Session chair: Camilo A. Mora Quiñones

*Abstract ID 104 (CIAC1, Friday 09:00-09:20)*

### Resolução de problema de roteamento de veículos elétricos integrado com operações de planejamento V2G

*Luis Fernando Rodriguez Jimenez\* (UNICAMP)*

[fernando.rjimenez192@gmail.com](mailto:fernando.rjimenez192@gmail.com) Carlos Julián Muñoz

Quiroga (UNICAMP); Silvia Dianne Florez Carreño

(UNICAMP); Washington Alves de Oliveira (UNICAMP);

Christiano Lyra Filho (UNICAMP)

A transição energética é essencial para reduzir a poluição atmosférica nas regiões urbanas e promover a sustentabilidade. Os veículos elétricos (VEs) emergiram como solução primordial nesta transição para a melhoria da qualidade do ar urbano, alinhando-se à crescente demanda por energias renováveis. Contudo, o aumento na demanda por VEs, que segundo Global EV Outlook, registrou 35% de crescimento entre 2022 e 2023, incorporou desafios significativos no planejamento do consumo de energia, exigindo soluções que assegurem a estabilidade das redes elétricas. A tecnologia Vehicle-to-Grid (V2G) figura como uma estratégia promissora neste contexto. Essa tecnologia possibilita aos VEs receberem energia das redes por meio de estações de carregamento, além de permitir que eles devolvam a energia armazenada nas baterias para a rede, mitigando impactos na infraestrutura elétrica e obtendo um lucro. Atualmente, a substituição da frota a combustão interna para veículos elétricos no setor logístico está impulsionando a necessidade de desenvolver abordagens inovadoras para a gestão das frotas, especialmente em cenários que incorporam a funcionalidade V2G. Neste âmbito, destaca-se o desenvolvimento de meta-heurísticas como apoio à tomada de decisão. Entre elas, a resolução de problemas de roteamento de veículos elétricos (PRVEs) por meio de algoritmos genéticos do tipo Biased Random-Key Genetic Algorithm (BRKGA). Este artigo aborda a aplicação do BRKGA na resolução do PRVE integrado à tecnologia V2G. Entre as premissas adotadas destacam-se a existência de estações de carregamento fixas, janelas de tempo e veículos homogêneos. Adicionalmente, existe flexibilidade para o carregamento parcial e alternância entre carga e descarga das baterias. Uma série de experimentos computacionais de pequeno e grande porte da literatura foram resolvidos. Os resultados mostram-se promissores, resolvendo exemplares maiores com tempo computacional até 500% menor, em comparação com modelos matemáticos.

*Abstract ID 247 (CIAC1, Friday 09:20-09:40)*

### Mejora de adherencia a planificación de ruteo usando Machine Learning basado en preferencias

### pasadas

*Tomás Rubio\* (Universidad Adolfo Ibáñez)*

[torubio@alumnos.uai.cl](mailto:torubio@alumnos.uai.cl) Luis Aburto (Universidad Adolfo Ibáñez); Victor Bucarey (Universidad de O'Higgins); Victor González (Simplit S.p.A); Felipe Lagos (Universidad Adolfo Ibáñez)

La planificación diaria de las rutas en la heurística de SimpliRoute, empresa fundada en 2014 y líder en América Latina sobre la gestión de datos de transporte en la última milla, está siendo dispar a la efectivamente realizada por el planificador en los registros de GPS y en el checkout de las paradas efectuadas. Aquello, se puede interpretar como la falta de adherencia del conductor a la heurística, debido a que el método aproximado no es capaz de capturar completamente la información del chofer, indispensable para la correcta estimación de los costos en los arcos entre cada par de nodos. La palabra adherencia desencadena varias dificultades, en primer lugar, la falta de consenso en su definición dentro de la literatura, los criterios que deben tomarse en los registros GPS y marcas de visitas para obtener los cálculos, y los escenarios sobre el apego, en concreto, cuándo se está frente a alta o baja adherencia en el ruteo. En segundo lugar, el desconocimiento por parte de la compañía sobre incorporar restricciones o modificaciones a su modelo del Vehicle Routing Problem con ventanas de tiempo, multiproducto, capacidad y flota heterogénea. Entonces, el proyecto busca definir e integrar las métricas de adherencia usando tres fuentes de datos: instancias de la heurística de SimpliRoute; data de los registros GPS, conjunto de puntos obtenidos en tiempo real; y checkout data, marcas que realizan los conductores para indicar la visita del cliente. Luego, se espera establecer un modelo de regresión con atributos de la instancia, los registros GPS y marcas de visitas. Posteriormente, será importante buscar qué características del ruteo son más relevantes para los conductores, de manera que puedan ser integradas mediante 2 modelos de aprendizaje de preferencias, primero, redes neuronales capaces de plantear restricciones de VRP, y segundo, modelos de Markov de Primer y Segundo orden con los que se podrán estimar probabilidades para integrar al VRP.

*Abstract ID 180 (CIAC1, Friday 09:40-10:00)*

### Configuración de la cadena de suministro considerando decisiones sobre infraestructura de recarga para vehículos eléctricos.

*Cesar D Osorio Castañeda\* (Universidad del Valle)*

[cesar.osorio@correounivalle.edu.co](mailto:cesar.osorio@correounivalle.edu.co) Juan Pablo Orejuela

(Universidad del Valle); Andrés Mauricio Paredes Rodríguez (Universidad del Valle)

Actualmente la planeación de las cadenas de suministro presenta desafíos que trascienden el enfoque tradicional de la eficiencia logística, respondiendo a la creciente preocupación por los efectos ambientales que surgen especialmente de la actividad de transporte entre los eslabones de la cadena. La adopción de vehículos eléctricos emerge como una alternativa eficaz para mitigar el impacto ambiental en la logística moderna. Este estudio propone un modelo de programación lineal entera mixta para optimizar la configuración de una cadena de suministro, integrando decisiones de apertura de nodos y flujos entre ellos, con decisiones sobre la infraestructura de recarga para vehículos eléctricos. El modelo se enfoca en la distribución eficiente de productos considerando tanto el flujo de mercancías con vehículos eléctricos como la ubicación óptima de estaciones de recarga. Este enfoque permite considerar diferentes rutas alternativas entre nodos, diferentes tramos conectados conformando arcos y tramos comunes entre arcos. El modelo fue programado en Lenguaje AMPL y fue probado preliminarmente en pequeñas instancias, donde el tiempo no ha sido una limitante, no obstante se desarrollarán experimentaciones futuras que implique el uso de grandes instancias. Los resultados del estudio destacan que a medida que aumentan los costos de apertura de estaciones los tramos comunes juegan un papel importante en la reducción de costos. La metodología propuesta no solo permite un análisis detallado de las rutas de distribución y la ubicación óptima de las estaciones de recarga, sino que también ofrece un marco para

futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la logística sostenible. Con una visión a largo plazo, esta investigación subraya la importancia de la planificación integrada de las decisiones logísticas y las de infraestructura de recarga.

*Abstract ID 238 (CIAC1, Friday 10:00-10:20)*

### Decarbonizing Urban Logistics in Emerging Markets: Understanding Freight Vehicle Composition and Informality

Camilo A. Mora Quiñones\* (Tecnológico de Monterrey)  
[camilomora@tec.mx](mailto:camilomora@tec.mx) Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón  
 (Tecnológico de Monterrey)

Nanostores dominate grocery retail in emerging markets, relying on frequent restocking due to limited cash flow and storage space, which results in a high volume of fossil fuel-dependent freight vehicles in urban areas. Understanding these vehicles is crucial for decarbonizing urban logistics. However, urban freight research and data in developing countries is inconsistent and scarce, often prioritizing studies on passenger transport. This investigation addresses these gaps and contributes by providing reliable urban freight data and filling substantial knowledge gaps regarding Mexico's informal freight sector. Over 3,500 last-mile delivery observations were collected across 18 Mexican states. Descriptive statistics revealed a diverse fleet serving nanostores, comprising 49.0% light trucks/vans, 21.8% heavy-duty trucks, and smaller shares of pickups, automobiles, motorcycles, and SUVs. Hypothesis testing (Mann-Whitney) found no significant difference in the number of boxes delivered per store between formal and informal sectors (Statistic: 60549.5, p-value: 0.736). A t-test comparing mean vehicle model years showed a significant difference ( $t(DF) = 7.25$ ,  $p < 0.001$ ), indicating newer vehicles in the formal sector. By means of regression analysis we explore the factors affecting dwell time, such as visit purpose, trolley use, and parking legality. Informal companies were found to serve nanostores 1.37 minutes faster than formal counterparts ( $p = 0.006$ ). Trolley use increased dwell time by 2.41 units ( $p < 0.001$ ), while legal parking added 2.14 units ( $p < 0.001$ ). Our evidence highlights significant financial disparities and strategic fleet management differences between formal and informal sectors, providing valuable insights to enhance sustainable urban freight practices and inform policy-making in emerging markets.

## 6.61 Location2

*Room: Aula Panamericana, Friday 14:00-15:30*

Session chair: Fernando Camacho

*Abstract ID 115 (Aula Panamericana, Friday 14:00-14:20)*

### A fast metaheuristic for the a-neighbor p-center problem

Ernesto Ortiz\* (CONACYT) [neto.otz@hotmail.com](mailto:neto.otz@hotmail.com) Roger Ríos (UANL); Diana L. Huerta Muñoz (Graduate Program in Systems Engineering, Universidad Autónoma de Nuevo León)

The a-neighbor p-center problem (ANPCP) is a location problem in which the goal is to select p centers such that the maximum distance of a user to its ath closest open facility is minimized. This problem arises when the aim is to have a minimum guaranteed response time between a demand point and its center by providing backup centers in case one of them fails to respond to an emergency. We propose a Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) to solve the ANPCP. The construction phase evaluates the objective function of the p-dispersion problem (PDP) to provide a feasible solution. We enhanced the time complexity of this heuristic by using tailored-made data structures, called Greedy Dispersion (GD), from  $O(mp^2)$  to  $O(mp)$ , and adapted it to use a value-based restricted candidate list (RCL) within GRASP. The constructed solution is then impro-

ved, in the next phase, by a local search heuristic whose move is a vertex substitution or interchange. We adapted the concept of fast interchange specifically for the ANPCP and called it Alpha Fast Vertex Substitution (A-FVS). This local search is significantly faster by exploiting the structure of the objective function, allowing to reuse several expensive computations, and led to outstanding computational speed-up times for all the test cases. Its details and technicalities, as well as the results and insights from the experiments, will be explained during the talk. The proposed GRASP accepts two input parameters: a number of maximum consecutive iterations without improvement before stopping the procedure, and a threshold value to adjust the randomness of the RCL. Finally, we adapt a novel exact algorithm that was recently published for the version of the ANPCP with a single set of nodes, in contrast with ours which considers two distinct sets, and compare it against our proposed GRASP. This experimentation and comparisons against other methods to solve the ANPCP are conducted and discussed during the talk.

*Abstract ID 290 (Aula Panamericana, Friday 14:20-14:40)*

### Metaheurísticas para el problema de las p-regiones aplicado a la regionalización económica

Diego Huerta Ocaña\* (Universidad de las Americas Puebla) [diego.huertaoa@udlap.mx](mailto:diego.huertaoa@udlap.mx) Héctor Saib Maravillo Gómez (UDLAP)

El problema de las p-regiones consiste en agrupar un conjunto de unidades geográficas en un número fijo de regiones, asegurando su contigüidad espacial mientras se optimiza un objetivo específico. Se busca encontrar regiones con la máxima homogeneidad posible, esto se alcanza minimizando la suma de las medidas de disimilitud entre todos los pares de unidades que pertenecen a una misma región. El problema de las p-regiones puede aplicarse en la regionalización económica para identificar regiones homogéneas con la misma estructura productiva, lo que permite el diseño de políticas públicas efectivas que promuevan el desarrollo regional y la gestión de recursos naturales. En este caso, la medida de disimilitud entre dos unidades se define como la diferencia entre sus estructuras de producción por sectores económicos. En este trabajo se diseña un algoritmo genético y tres metaheurísticas para el problema de las p-regiones utilizando un enfoque basado en teoría de grafos. Al considerar una gráfica donde las unidades geográficas son los vértices y existe una arista entre cada dos unidades contiguas, el problema se traduce en encontrar una partición de los vértices en regiones conexas. Se propone una codificación para el algoritmo genético que hace uso de aristas ponderadas y arboles de expansión para representar particiones de la gráfica. Utilizando esta representación, se diseñan operadores de cruzamiento y mutación que buscan aprovechar las particularidades de la codificación. El desempeño del algoritmo genético se compara con métodos exactos, y con las tres metaheurísticas: Búsqueda Local Multi-Arranque, Recocido Simulado y GRASP. Los algoritmos implementados se prueban haciendo regionalización económica de municipios pertenecientes a distintos estados de México, donde los datos de producción de cada municipio son obtenidos del Censo Económico del INEGI del 2019.

*Abstract ID 42 (Aula Panamericana, Friday 14:40-15:00)*

### New approach for the p-center problem

Alfredo Marín\* (Universidad de Murcia) [amarin@um.es](mailto:amarin@um.es)

The p-center problem aims to choose p columns of a distances matrix in order to minimize the maximum, over the set of rows, of the minimum of the values of the p columns. Many different exact algorithms and heuristics have been proposed in the past. In particular, different (in size and quality) integer programming formulations for the problem have been developed. Better computational results are obtained with the new approach we propose, based on the concept of equivalent instances. The method can be used to exactly solve the instances or to obtain feasible solutions in a reasonable time. We successfully compare our results with the best results in the literature.

*Abstract ID 113 (Aula Panamericana, Friday 15:00-15:20)*

### A Location-Routing Bilevel Problem with a Focus

## on Customer Service

*Fernando Camacho\** (Tecnologico de Monterrey)

[fernando.camacho@tec.mx](mailto:fernando.camacho@tec.mx) Jesús-Adolfo Mejía-de-Dios  
(Centro de Investigación en Matemáticas Aplicadas,  
Universidad Autónoma de Coahuila); Rosa G González  
Ramírez (Universidad de los Andes Chile)

In this presentation, we describe a problem in a decentralized supply chain, in which a hierarchy among two different stakeholders is considered. We consider a higher-hierarchy stakeholder (leader) that aims to open depots. Additionally, the leader decides the capacities of the opened depots. Their objective is to minimize the investment and distribution costs. On the other hand, there is a lower-hierarchy stakeholder (follower) that is in charge of the operational decisions, such as the routing of the customers. The follower is customer-oriented; hence, it desires to minimize latency, which can be seen as the waiting time of the customers for receiving their products. In this problem, the leader's decisions affect the routes created by the follower since the starting points of the routes must be in a depot opened by the leader. Conversely, routes created by the follower impact the distribution costs of the leader. Therefore, a bilevel optimization framework is suitable for modeling this problem. The proposed bilevel model is mixed-integer; a reformulation that reduces the problem by one level is not possible. Moreover, the follower considers a multi-level network to handle the customer's latency. To solve the problem, we propose a surrogate-assisted evolutionary algorithm. One of the key aspects of the proposed algorithm is its requirement for low computational time. Computational experimentation is conducted to evaluate the performance of the proposed algorithm. Interesting findings emerge from the obtained results.

## 6.62 Supply Chain Management2

*Room: Auditorio Santander Norte, Friday 14:00-15:30*

Session chair: Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón

*Abstract ID 64 (Auditorio Santander Norte, Friday 14:00-14:20)*

### Simulación de gestión de repuestos reparables: un enfoque en tasas de fallas diferenciadas y envejecimiento del sistema

*Javier I Zárate\** (universidad Católica del Norte)

[javier.zarate@ce.ucn.cl](mailto:javier.zarate@ce.ucn.cl) Francisco J. Tapia-Ubeda  
(Universidad Católica del Norte)

La adecuada gestión de la cadena de suministro de repuestos es fundamental para asegurar la continuidad operacional de organizaciones, especialmente las que son intensivas en equipamiento. En este contexto, podemos distinguir un caso especial para los repuestos reparables. Estos repuestos son tradicionalmente están relacionados con altos costos, lo que hace que sean gestionado con políticas de control de inventario continuas. Normalmente la incorporación de repair shops y el cómo gestionarlos es parte de las decisiones para la gestión de estos repuestos; los cuales nos permiten reparar y dejarlos en una calidad similar a un producto nuevo. Sin embargo, este último punto es parte de la discusión, puesto que puede ser cuestionable el que los repuestos reparados se comporten tal cual como un repuesto nuevo. Entonces, la incorporación de tasas diferenciadas y envejecimiento del sistema son esenciales para una buena gestión de los repuestos. Estos factores implican cambios directos en las tasas de falla, y pueden impactar en los planes de mantenimiento. Así, la presión sobre una gestión adecuada de los inventarios de repuestos es crucial para conseguir los objetivos de desempeño. Por lo mismo, este trabajo propone modificaciones en las políticas tradicionales de gestión de inventario que puedan responder de manera eficiente a la incorporación de tasas diferenciadas de fallas y envejecimiento. El análisis de las propuestas se realiza mediante un modelo de simulación que permite evaluar los

desempeños de los distintos indicadores críticos para la gestión de repuestos para cada una de las políticas propuestas. Los resultados ratifican que la incorporación de modificaciones a las políticas de control de inventario son más eficientes para la gestión de los repuestos reparables.

*Abstract ID 205 (Auditorio Santander Norte, Friday 14:20-14:40)*

### Optimización dinámica estocástica de una cadena de suministros automotriz mediante programación dinámica

*Carlos E. Lopez-Landeros\** (Universidad Panamericana)

[0249702@up.edu.mx](mailto:0249702@up.edu.mx) Ricardo Valenzuela-Gonzalez  
(Universidad Panamericana); Elias Olivares-Benitez  
(Universidad Panamericana)

La cadena de suministros automotriz es una de las más atractivas y dinámicas, está en constante cambio y liderando la innovación con la adopción temprana de nuevas tecnologías. En el contexto actual de la globalización, los retos en el transporte, la competencia en costos y un ambiente lleno de incertidumbres, los participantes del sector automotriz requieren sincronizar sus procesos de toma de decisiones para ser competitivos, reducir costos, incrementar utilidades y cumplir con las expectativas de los clientes. Además, el efecto látigo de ampliación de la demanda a través de los eslabones de la cadena de suministros y la propagación de perturbaciones que provoca el llamado efecto dominó, obliga el análisis de la cadena desde una perspectiva dinámica-estocástica en aras de mejorar su desempeño. En este trabajo se propone un modelo de optimización dinámica estocástica para una cadena de suministros de cinco eslabones y la producción de tres modelos de automóviles. El modelo propuesto se resuelve mediante el algoritmo de Programación Dinámica Iterativa. Los resultados obtenidos permiten delinear los niveles óptimos de producción-inventario de los integrantes de la cadena para cada instante de tiempo, como una secuencia de decisiones coordinadas. Se consideran las tasas de suministro de materia prima, como las variables de control del sistema y sus perfiles en el tiempo provocan que un funcional de costo sea mínimo en un horizonte de tiempo. En el modelo se incluyen operaciones de mezcla de autopartes en el eslabón de ensamble y se modela la naturaleza estocástica de parámetros como los costos de las materias primas y la demanda de los automóviles. Finalmente, se presenta un escenario teórico de operación de la cadena y se comparan dos configuraciones del sistema para ilustrar la conveniencia del enfoque propuesto en la obtención de un proceso de toma de decisiones global.

*Abstract ID 376 (Auditorio Santander Norte, Friday 14:40-15:00)*

### Coordinating inventories under supply chain disruptions with known variable demand, considering backorders and volume discounts.

*Araceli Zavala\** (TEC de Monterrey) [araceli.zavala@tec.mx](mailto:araceli.zavala@tec.mx)

Patricia Alvarez (TEC de Monterrey)

Companies are working to improve their inventory management to offer better benefits to customers. Inventory, transportation, material handling, and backorder costs have been reduced through coordination among companies. In this paper, we compare three supply chain models. The first model considers known variable demand and backorders; the second adds coordination and volume discounts; and finally, the third includes supply chain disruptions. We seek to evaluate the impact of each component on total supply chain costs. When ordering and holding costs are high, there are expected to be more backorders. Finally, when there are supply chain disruptions, we expect the backorder levels and associated costs to increase.

*Abstract ID 117 (Auditorio Santander Norte, Friday 15:00-15:20)*

### Impact of subsidies on investment, pricing, and

## profit in supply chain coordination amid power demand

Leopoldo Eduardo Cárdenas-Barrón\* (*Tecnológico de Monterrey*) [lecarden@tec.mx](mailto:lecarden@tec.mx) Md. Al-Amin Khan (Jahangirnagar University)

This study investigates a two-phase supply chain coordination strategy under the carbon tariff emissions rule that involves a single manufacturer and several retailers. Each coordination partner invests in eco-friendly technologies in an effort to lower the tariff placed on emissions. Furthermore, the government provides subsidies to those active in coordinating investments in sustainable technologies. The manufacturer operates within the supply chain, producing a distinct category of products at a fixed rate of production and distributing them to retailers in multiple shipments of equal size. The aggregate volume of demands from customers during the course of the business cycle, which varies nonlinearly depending on the price and length of storage, is equal to the retailers received lots. Coordinating players may have varying degrees of investment and earnings, making it difficult to distribute the overall benefit of the system among them. This study seeks to analyze various allocation strategies for maximizing the system's profit, taking into account the members diverse degrees of comprehension and their investments in coordination. The relevant problems, expressed as mixed-integer non-linear programming problems, are extremely challenging from a computing standpoint. Therefore, a hybrid metaheuristic method is suggested as a solution technique. Ultimately, numerical experimentation has been employed to examine the effectiveness of different suggested profit distribution schemes. The accomplished investigation shows that implementing a forward contract between manufacturers and retailers is an effective strategy for maximizing profits.

## 6.63 Waste3

Room: Auditorio Santander Sur, Friday 14:00-15:30  
Session chair: Carola Blazquez

Abstract ID 267 (Auditorio Santander Sur, Friday 14:00-14:20)

### Algoritmos matheurísticos multi-objetivo: métodos de solución aplicados a un problema de cadena de suministro verde agro-industrial

Maximiliano Ibarra\* (*Universidad Autónoma de Coahuila*) [maxibarra.234@gmail.com](mailto:maxibarra.234@gmail.com) Yajaira Cardona-Valdés (*Universidad Autónoma de Coahuila*); Vanesa Avalos-Gaytán (*Universidad Autónoma de Coahuila*); Omar Jorge Ibarra-Rojas (*Universidad Autónoma de Nuevo León*)

En este estudio se aborda un problema de cadena de suministro para aprovechar residuos agro-industriales en la elaboración de snacks, motivado por una problemática real. Se considera una cadena de cuatro etapas: proveedores, centros de recolección, plantas y bodegas. Se define un problema determinista con múltiples periodos de tiempo, se consideran distintos tipos de materias primas y su disponibilidad, y la transformación de la materia prima en las etapas: de residuos a pomaza, y posteriormente a snacks. Este complejo problema se modeló matemáticamente como un programa lineal entero-mixto bi-objetivo para minimizar los costos operativos totales y las emisiones de CO<sub>2</sub> vehiculares. Se determina el flujo de productos en la cadena, la cantidad y tipo de vehículos, las ubicaciones de los centros de recolección y las plantas, así como el exceso y faltante de snacks. En esta presentación se muestran dos algoritmos matheurísticos bi-objetivo aplicados al problema de cadena de suministro: BOWMS+NWS y BOWMS+e-C. Primero, se resuelve el problema de ubicación de instalaciones con el algoritmo metaheurístico Bi-Objective Weighted Multi-Start (BOWMS); luego, las demás decisiones (flujo, asignaciones vehiculares, exceso y faltante) se determinan mediante los mé-

todos Normalized Weighted Sum (NWS) y epsilon-Constraint (e-C) basados en programación matemática para obtener los frentes de Pareto del problema. Se comparan los métodos NWS, e-C, BOWMS, BOWMS+NWS y BOWMS+e-C en 5 instancias experimentales y un caso de estudio. La resolución con NWS y e-C requieren mayores costos computacionales; se obtienen más puntos del frente de Pareto con e-C y BOWMS+e-C; e-C logra mejor hipervolumen, y le siguen similarmente NWS y BOWMS+e-C; los matheurísticos reportan un menor gap promedio, siendo más eficientes en problemas complejos. Sin embargo, esto no refleja la calidad de los frentes de Pareto, ya que la calidad de los matheurísticos depende de las soluciones obtenidas del BOWMS.

Abstract ID 360 (Auditorio Santander Sur, Friday 14:20-14:40)

### Optimización binivel con matheurísticas para la gestión de residuos sólidos urbanos en Antioquia, Colombia

Krystel Rodríguez\* (*Universidad Autónoma de Nuevo León*) [krystel.rodriguezrz@uanl.edu.mx](mailto:krystel.rodriguezrz@uanl.edu.mx) Fernando Camacho (*Tecnológico de Monterrey*); Juan G Villegas (*Universidad de Antioquia*)

Con el acelerado crecimiento de los residuos sólidos urbanos (RSU) y la insuficiencia de servicios adecuados, la logística verde desempeña un papel crucial en la implementación de tecnologías para una gestión eficiente de residuos. Diversos estudios han propuesto modelos binivel de cadena de suministro para optimizar estos sistemas. En este estudio, se propone un modelo de programación binivel para la gestión sostenible de RSU, involucrando el gobierno y una empresa privada como los tomadores de decisiones. El proceso inicia en zonas de recolección de RSU administradas por el gobierno y se transportan hacia estaciones de transferencia, donde se clasifican para ser trasladados posteriormente a plantas especializadas, donde se lleva a cabo su proceso de tratamiento y reciclaje según el tipo de residuo. El gobierno busca minimizar las emisiones de dióxido de carbono generadas en la cadena de suministro, tomando decisiones sobre la apertura de zonas de recolección y el traslado de los RSU recolectados a dichos centros. Por otro lado, la compañía privada selecciona las plantas de tratamiento especializadas en los diferentes tipos de RSU con los que van a trabajar, y se encarga del envío de los materiales desde los centros de transferencia a estas plantas, con el objetivo de minimizar los costos de operación. Para resolver el problema binivel planteado, se propone un algoritmo matheurístico anidado basado en GRASP para decidir la habilitación de los centros de transferencia y con un modelo exacto se decide el envío de los RSU. Posteriormente, para cada solución completa del líder, se resuelve el nivel inferior de manera exacta con un optimizador comercial. El algoritmo itera hasta alcanzar un criterio de paro. Se presenta un caso de estudio del sistema de gestión de residuos en Antioquia, Colombia.

Abstract ID 157 (Auditorio Santander Sur, Friday 14:40-15:00)

### Trazabilidad en la gestión de operaciones y la cadena de abastecimiento de los planes colectivos colombianos enmarcados en la responsabilidad extendida del productor.

Jorge M Castrillon-Ocampo\* (*Universidad de Antioquia*) [jmario.castrillon@udea.edu.co](mailto:jmario.castrillon@udea.edu.co) Pablo Maya-Duque (*Universidad de Antioquia*); Gloria Lucía Ramírez (*Universidad de Antioquia*)

La transición hacia la economía circular (EC) está generando un cambio fundamental en la gestión de residuos. En este contexto, ha surgido la responsabilidad extendida del productor (REP) como un instrumento que ayuda a esta transformación. La implementación de REP implica que las cadenas de abastecimiento se adapten para satisfacer las nuevas exigencias de las normas y los mercados que promueven el cierre de ciclos de materiales. En este sentido, la trazabilidad emerge como una herramienta crucial para garantizar la eficiencia, transparencia y cumplimiento de los esquemas de REP.

En consecuencia, este estudio se centra en analizar las estrategias de trazabilidad que pueden integrarse en sistemas de REP de envases y empaques (EE) en Colombia, prestando especial atención a las tecnologías emergentes que resultan útiles. El estudio comienza describiendo las características de la cadena de abastecimiento en el contexto colombiano, identificando los actores y elementos susceptibles de ser trazables. Posteriormente, se seleccionan aquellos que hacen parte de la operación del sistema y facilitan el seguimiento de materiales e información, a la vez que contribuyen a alcanzar las metas mínimas de aprovechamiento de residuos de EE. Se evalúan las tecnologías disponibles y estrategias implementadas en contextos comparables para proponer una metodología de trazabilidad acorde a las necesidades locales. Además, el estudio valida las estrategias mediante simulaciones basadas en escenarios que utilizan una herramienta de software construida para evaluar el desempeño de la metodología en diferentes condiciones de operación. Posteriormente, se realiza un análisis estadístico de los resultados de las simulaciones para determinar si la herramienta contribuye a mejorar la trazabilidad. Este análisis compara las diferentes métricas de rendimiento en busca de identificar las condiciones que optimizan los resultados de la metodología.

*Abstract ID 203 (Auditorio Santander Sur, Friday 15:00-15:20)*

### Optimal location-allocation of recyclable waste bins in the commune of Renca in Santiago, Chile

Carola Blazquez\* (Universidad Católica del Norte)  
[cblazquez@unab.cl](mailto:cblazquez@unab.cl) Kevin Gallegos (Universidad Católica del Norte); Tania Guerrero (Universidad Católica del Norte); Kathia Pinto (Universidad Católica del Norte); Pablo A. Miranda-Gonzalez (Universidad Católica del Norte)

There has been a significant increase in solid waste generation over time due to increased urbanization, population growth, and economic development. Thus, municipalities must make efforts to provide efficient design of recyclable waste collection systems in urban areas to minimize negative impacts on the environment and society. This study developed mixed-integer linear programming model for solving the recyclable waste bin location-allocation problem in the commune of Renca in Santiago, Chile. Results are obtained for different values for the number of potential bin locations, maximum number of assigned bins, and maximum travel distances to the assigned bins. These results suggest that the total travel distance to dispose recyclable waste decreases, as the number of required bins and the number of located bins are increased. This study provides various optimal alternatives when addressing the location/allocation problem of recyclable waste bins that will benefit the preferences of both authorities and residents, while the environment is protected.

## 6.64 Manufacturing1

*Room: Aula Magna, Friday 14:00-15:30*

Session chair: Eva Selene Hernández Gress

*Abstract ID 315 (Aula Magna, Friday 14:00-14:20)*

### Minimización del tiempo de operación en un centro de maquinado CNC

Pedro Inés Loera Martínez\* (FCQ, UANL)  
[pedro.loeramr@uanl.edu.mx](mailto:pedro.loeramr@uanl.edu.mx) Iván Guillermo González (FCQ, UANL); Iris A Martínez Salazar (Universidad Autónoma de Nuevo León)

Las máquinas herramientas tales como tornos, fresadoras, cortadoras, entre otros; son instrumentos utilizados para el maquinado de metales, plásticos o madera, que a su vez se emplean en la fabricación de piezas o productos en diversos sectores industriales. Algunos de estos sectores, como el automotriz, requieren que los productos tengan dimensiones muy precisas, cumpliendo una tolerancia geométrica es-

pecificada por el cliente. Con el objetivo de cubrir los requerimientos del cliente, los equipos de control numérico computarizado (CNC) son los ideales para estas tareas. Estas máquinas son operadas mediante una computadora que controla un conjunto de servomotores, realizando desplazamientos en un sistema de coordenadas en distintos ejes. Además, es capaz de controlar la velocidad de corte, la profundidad y el acabado. Las máquinas CNC son de costos elevados tanto para la adquisición, la operación y el mantenimiento. Es por ello, que es importante un correcto manejo del equipo, buscando maximizar su vida útil y productividad. Esta investigación se realizó en un centro de maquinado CNC, en el cual, se establecen diversos parámetros de operación, que a su vez dependen de las herramientas utilizadas y los materiales procesados. La máquina realiza la tarea de desbaste de material siguiendo una trayectoria programada en el sistema de coordenadas. Dicha programación, determina el tiempo de ejecución en que será llevada a cabo la tarea, debido a esto, resulta significativo que el equipo sea programado con una ruta que minimice el tiempo de trabajo, que influirá directamente en la reducción de los costos de operación. En este trabajo, se presenta un MILP basado en la estructura del TSP, el cual es capaz de resolver las instancias propuestas a optimalidad. Además, se desarrolló un heurístico que permite encontrar soluciones factibles y de buena calidad en un tiempo considerable.

*Abstract ID 283 (Aula Magna, Friday 14:20-14:40)*

### Optimización de rutas para la definición de las trayectorias de robots de soldadura

Guillermo Martínez-Tizoc\* (Centro de Investigación en Matemáticas Unidad Monterrey)  
[guillermo.martinez@cimat.mx](mailto:guillermo.martinez@cimat.mx) Norberto A. Hernández Leandro (CIMAT)

El avance de la tecnología aplicada al sector industrial busca conformar procesos más eficientes sin descuidar la calidad de los productos. En manufactura, específicamente en la soldadura por arco eléctrico, la producción masiva ha motivado el uso de robots para agilizar los procesos y asegurar que las piezas cumplan sus especificaciones. Sin embargo, la planeación de las rutas de estos robots de soldadura no es trivial, ya que se deben definir secuencias buscando minimizar el tiempo de ciclo pero que a su vez sean factibles bajo ciertas restricciones, como evitar que los robots colisionen entre sí. Para definir dicha secuencia de soldadura y comprobar su factibilidad, los diseñadores tienen a su alcance diversas herramientas, sin embargo, al tratarse de un problema combinatorio, encontrar el resultado óptimo es complejo. Para encontrar una buena secuencia, en relación con un tiempo de ciclo mínimo, se han investigado diversos métodos: metaheurísticas (Rout et al., 2019), (Ekrem & Aksoy, 2023), evolutivos (Chen et al., 2018), redes neuronales (Ying et al., 2021), etcétera. Sin embargo, algunos de estos usan fundamentalmente la simulación robótica durante las iteraciones para encontrar soluciones factibles. Esta cuestión, si bien agrega certidumbre al resultado, resulta computacionalmente costoso. Este estudio propone el desarrollo de un método para encontrar secuencias que minimicen los tiempos de movimiento de robots entre cordones de soldadura, basado en la metaheurística GRASP y considerando restricciones que permitan identificar movimientos con riesgo de colisión que permitan encontrar una solución rápidamente. Es importante resaltar que el método propuesto no utiliza simulaciones robóticas durante el cálculo de la solución, solamente en la evaluación final, siendo considerablemente más rápido comparado con otras propuestas ya analizadas. Esta característica lo hace atractivo para el sector industrial donde el tiempo de respuesta es muy valioso.

*Abstract ID 55 (Aula Magna, Friday 14:40-15:00)*

### Analysis of a lean manufacturing system using a value stream mapping and simulation

Hector Rivera\* (UAEH) [hector\\_rivera@uaeh.edu.mx](mailto:hector_rivera@uaeh.edu.mx)  
 Liliet Cárdenas-Curbelo (UAEH); Jaime Garnica-González (UAEH); Lourdes Loza-Hernández (UAEM)

The study under consideration is focused on the implementation of lean manufacturing in a factory that deals with the production of electro-pneumatic arms and pistons in a production line. The main aim of this study is to enhance the operational efficiency of the production line by identifying areas that need improvement and addressing them through the integration of value stream analysis and discrete event simulation methodologies. During the course of the study, it was found that there were certain problems such as excessive waiting times and bottlenecks in the production process that needed to be addressed. To tackle these issues, solutions based on lean manufacturing principles were proposed. These solutions included the design of production cells and pull systems. The proposed solutions were then evaluated through extensive simulation. The results of the simulations demonstrated a significant improvement of 31.18% in throughput and a reduction of 51.96% in lead time. These findings emphasize the effectiveness of lean manufacturing in improving production and meeting market demands. The practical implications of this study are significant as it demonstrates how lean manufacturing techniques can enhance operational efficiency and improve company competitiveness. The originality of this work lies in its comprehensive, customer-centric approach to addressing production challenges in a dynamic business environment. The combination of the proposed methodologies offers a holistic perspective to identify areas of improvement and evaluate proposed strategies, which contributes to the advancement of knowledge in the field of lean manufacturing and its application in real industrial environments. Overall, this study provides valuable insights into the successful implementation of lean manufacturing principles in factories involved in the production of electro-pneumatic arms, paving the way for improved operational efficiency and enhanced competitiveness in the market.

*Abstract ID 66 (Aula Magna, Friday 15:00-15:20)*

### **Improving aggregate production planning considering maximum inventory area and service level with demand uncertainty: a nearshoring context in Mexican companies**

*Eva Selene Hernández Gress\** (Tecnológico de Monterrey) [evahgress@tec.mx](mailto:evahgress@tec.mx) José Emmanuel Gómez Rocha (Tecnológico de Monterrey); Cipriano Arturo Santos Borbolla (Tecnológico de Monterrey)

Nearshoring is a phenomenon that has gained prominence in Mexico over the last 2 years, where companies have faced problems in meeting customer demand due to a service level and limited inventory space. Previous studies in aggregate planning did not consider the possibility of allowing rental of extra warehouse space if needed with a concurrent uncertainty in demand. Therefore, to address this gap in the research, an improved optimization model for multi-product and multi-period aggregate planning with uncertainty in demands given an area of inventory space is proposed. A set of cases based on real industry data were solved and compared to a model where no warehouse space is allowed to be rented. The results are improvements related to production costs and customer demand satisfaction. In addition, the model will help managers of manufacturing companies to determine the minimum inventory space required to effectively meet demand.

## **6.65 Simulation4**

*Room: Central10, Friday 14:00-15:30*

Session chair: David F. Munoz

*Abstract ID 282 (Central10, Friday 14:00-14:20)*

### **Optimización del sistema de bicicletas compartidas de la Ciudad de México (ECOBICI)**

*Geraldine González Fernández\** (Centro de Investigación en Matemáticas, Unidad Monterrey)

[geraldine.gonzalez@cimat.mx](mailto:geraldine.gonzalez@cimat.mx) Norberto A. Hernández Leandro (CIMAT)

Los sistemas de bicicletas compartidas (BSS) ofrecen una propuesta de transporte fácil y asequible con el uso compartido de estas. La Ciudad de México tiene el sistema ECOBICI, el primer BSS en América Latina. Los BSS enfrentan desafíos logísticos, como el rebalaceo que consiste en distribuir bicicletas entre estaciones, evitando estaciones vacías, que impiden iniciar viajes, y estaciones llenas, que dificultan estacionar bicicletas. El objetivo es asegurar la accesibilidad y satisfacción de los usuarios. Este trabajo aborda el rebalaceo del sistema ECOBICI desde una perspectiva dinámica, en contraste con enfoques estáticos (Possani y Castillo, 2021), donde las bicicletas se mueven cuando el sistema está cerrado. El enfoque propuesto ofrece soluciones ajustadas a la demanda real, mediante el uso de un entorno de simulación-optimización. Inicialmente, se simula el comportamiento del sistema sin intervención de rebalaceo, para comprender su dinámica. Posteriormente, se optimiza el acomodo de bicicletas intradía, generando estrategias que son probadas nuevamente en el entorno de simulación, y se evalúa su efectividad. Un aspecto clave de este enfoque es considerar el movimiento de bicicletas entre estaciones a partir de matrices de transición, y el modelar la demanda de cada estación con procesos tipo Poisson. Aunque el trabajo de (Marquez et al., 2021) presenta similitudes con el nuestro, destacamos una diferencia fundamental: consideramos las distancias reales en automóvil entre estaciones al trazar las rutas de rebalaceo y la incorporación de las transiciones de bicicletas entre estaciones, aspectos que añaden realismo a las estrategias propuestas. El algoritmo propuesto se basa en la metodología "Cluster First-Second Route" utilizado en el problema de ruteo (Comert et al., 2018). Las estrategias propuestas se comparan con un enfoque tipo Greedy. En resumen, este trabajo busca ofrecer soluciones dinámicas y realistas al problema de rebalaceo intradía.

*Abstract ID 364 (Central10, Friday 14:20-14:40)*

### **Análisis mediante simulación de fuentes de variabilidad en un Sistema de Manufactura Flexible**

*Israel De La Cruz M.\** (Tecnológico Nacional de México en Celaya) [d2303020@itcelaya.edu.mx](mailto:d2303020@itcelaya.edu.mx)

De la Cruz-Madrigal, I.; Hernández-González, S.; Hernández-Ripalda, M. D.; Tapia-Esquívias, M. Un Sistema de Manufactura Flexible (FMS, Flexible Manufacturing System) ofrece flexibilidad para reaccionar a los cambios en el mercado, pero es necesario priorizar los factores que influyen en su desempeño. La variabilidad degrada el rendimiento de estos sistemas de manufactura, por lo tanto, es importante entender primero sus causas a fin de identificar estrategias de gestión. En este trabajo se analiza, mediante simulación discreta por medio del software Arena®, el impacto de diferentes factores que generan variabilidad en un sistema de manufactura. Dicho sistema consiste en llegadas de partes, 4 celdas de manufactura interconectadas a través de vehículos autoguiados para el manejo de materiales y salidas de 3 productos diferentes. Se consideran como factores el que se apliquen 3 cambios de turno o producción continua, tiempos promedio entre fallas: corto y largo, y cantidad diferente de vehículos autoguiados utilizados (AGV). Las variables de desempeño son tiempo ciclo, inventario en proceso y cantidad de partes producidas. Mediante ANOVA, se determina que el tiempo ciclo e inventario en proceso se incrementan cuando se tiene un proceso continuo, sin cambios de turno, y el tiempo de falla entre estaciones es largo. La cantidad de producción no se ve afectada por los factores analizados, sin embargo, mientras mayores sean tiempo ciclo e inventario en proceso, menos eficiente se es, por lo que se deben enfocar las estrategias de gestión en reducir estos. Del mismo modo, la cantidad de AGV se debe reducir para maximizar uso, ya que este factor no tiene impacto en el tiempo ciclo e inventario en proceso. Palabras clave: Sistema Flexible de Manufactura, variabilidad, desempeño, simulación.

*Abstract ID 318 (Central10, Friday 14:40-15:00)*

### **Propuesta para la representación de sesgos cognitivos en el modelado de simulación multi-agente de**

## sistemas con inteligencia colectiva.

Lindsay Alvarez Pomar\* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas) [lavarez@udistrital.edu.co](mailto:lavarez@udistrital.edu.co) Maria Emma Lombana (Universidad del Rosario); Andrés Felipe Zambrano (Universidad de La Rioja)

El modelado de simulación multi-agente ha sido ampliamente utilizado en la última década para representar grandes cantidades de entidades y analizar la emergencia de comportamientos o fenómenos del sistema. En este tipo de simulación, se establecen reglas simples de comportamiento para los agentes, lo cual permite generar resultados en las medidas de rendimiento del sistema representado. Estas reglas se formulan con base en el conocimiento del sistema, pero regularmente carecen de soporte en datos reales. En esta investigación se exploraron dos casos distintos: uno sobre una cooperativa lechera y otro sobre domiciliarios urbanos, utilizando información empírica para respaldar el modelado del comportamiento de los agentes. El modelo de simulación se diseñó inspirado en el "genoma de la inteligencia colectiva" propuesto por Thomas Malone. Fue necesario representar motivadores relacionados con el dinero, reconocimiento y amor, aproximados mediante análisis estadístico de los datos recolectados. Se identificaron las variables más influyentes en la toma de decisiones de los agentes y se utilizaron métodos cuantitativos para representar los sesgos cognitivos identificados. Se emplearon la lógica difusa, las probabilidades bayesianas y la simulación Montecarlo para representar los motivadores en los modelos de simulación multi-agente, en lugar de usar reglas con base en la mera observación. Los modelos se validaron a partir de los comportamientos emergentes observados en los sistemas analizados. Los resultados indican que la representación de sesgos cognitivos es una estrategia válida en el modelado de simulación multi-agente, que permite analizar variables asociadas a comportamientos humanos.

Abstract ID 38 (Central10, Friday 15:00-15:20)

## Simulation Models for Planning the Electoral Results Program for the 2024 Federal Elections in Mexico

David F Muñoz\* (Instituto Tecnológico Autónomo de México) [davidm@itam.mx](mailto:davidm@itam.mx)

As reported in a previous article, since the 2018 federal elections, the Technical Unit of Computer Services of the National Electoral Institute of Mexico uses simulation models as planning tools for the execution, on the day of the elections, of the Preliminary Electoral Results Programs (PREP). For the 2024 federal elections, a simulation model was developed using the commercial software Simio. This model aims to predict the percentage of scrutiny forms published per count update (after the closure of polling booths), under different capacities of the resource pools that execute the different activities and has the capacity to simulate the exchange of resources between the different pools, according to the processing needs at different moments in the development of the processes. Due to the large number of entities and resources involved in the PREP technical operational process (PTO), the model developed in Simio requires very long running times, so it was necessary to replicate this model using subroutines specifically developed in C++ for the PREP PTO. This second model runs in significantly shorter times than the Simio model, and allowed us to obtain the results required for planning of the PREP for the 2024 federal elections. This article reports both the development and performance of the simulation models. as planning tools, and details are provided on the steps followed in building the model, such as input analysis, model verification and animation, and output analysis.

## 6.66 Water1

Room: Central12, Friday 14:00-14:50

Session chair: José A Alonso

Abstract ID 216 (Central12, Friday 14:00-14:20)

## Sostenibilidad de plantas de tratamiento de aguas residuales descentralizadas y centralizadas: Una revisión de literatura

Telmo Vargas \* (Universidad de Santiago de Chile ) [telmo.vargas@usach.cl](mailto:telmo.vargas@usach.cl) Andrea T Espinoza Pérez (Universidad de Santiago de Chile); Cristina Villamar (Universidad de Santiago de Chile)

En los últimos años, el cambio climático y el creciente déficit de agua han relevado la necesidad de mejorar la gestión del agua. En este contexto, las plantas de tratamiento de aguas residuales son esenciales, debido a que mitigan los efectos del cambio climático reduciendo la contaminación y contribuyen con la reutilización del agua. Países en vías de desarrollo tienen profundas brechas de saneamiento lo que se repite en campos y ciudades, por esto, es crucial evaluar el desarrollo de sistemas de tratamiento descentralizados respecto a los centralizados, para identificar las razones que han gatillado una mayor desigualdad en zonas rurales. El estudio evalúa la sostenibilidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados respecto a los centralizados, mediante una revisión bibliográfica. Se planteó una búsqueda usando palabras claves como: wastewater treatment plant, decentralized, life cycle assessment, social life cycle, environmental life cycle, cost analyst life cycle, footprint, greenhouse gas and environmental impact. Usando bases de datos tales como Scopus y Web of Science, en abril del 2024, sin rango de fechas. El análisis de los estudios seleccionados consideró criterios como: tecnologías implementadas, tipo de agua tratada y análisis de ciclo de vida aplicados a aspectos ambientales, sociales y económicos. Se seleccionaron 55 artículos, abarcando zonas rurales, urbanas, peri-urbanas y comparaciones entre estos. Un 35% de artículos procedieron de Europa, 27% a Asia, 18% a América y 2% a África. Cerca del 42% estudió aguas domésticas, 17% grises y 16% municipales. El indicador de impacto ambiental más usado fue Cambio Climático. Mientras que, a nivel de análisis de ciclo de vida de los costos en un 20% usó indicadores como costos de operación y mantenimiento. En el ámbito social, 18% adoptó Social-Life Cycle Assessment y The Multi Attribute Value Theory, siendo los actores más evaluados la comunidad y los empleados.

Abstract ID 192 (Central12, Friday 14:20-14:40)

## Multiobjective Reinforcement Learning for Water Distribution Network Control

José A Alonso\* (Universidad Nacional Autónoma de México) [j.albertoalonso.96@gmail.com](mailto:j.albertoalonso.96@gmail.com) María Cristina Verde Rodarte (Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México); Carlos I Hernández Castellanos (UNAM)

The present study addresses the problem of designing pumping control strategies in a water distribution network, using an Evolutionary Multi-objective Reinforcement Learning technique. The strength of using a multi-objective criterion is to be able to characterize the objectives of the pressure requirement by sections with prioritization and pumping efficiency, independently. The main challenge in designing the strategies is the management of user demand, which is uncertain, which is why an algorithm with the capacity for reinforcement learning and scaling to complex networks is proposed. In particular, it is proposed to use the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm III (NSGA-III) to optimize deep policy neural networks to attack the problem, given that it is a robust algorithm that allows integrating user preferences and has shown its applicability in a wide range of problems. The Anytown water distribution network is used as a case study, which consists of twenty-two nodes, forty-one pipelines, and a pumping station. Subsequently, different demand scenarios are simulated to validate the solutions found, and they were analyzed with respect to the convergence graphs of the hypervolume indicator and pressures in the network. The results show that the generated strategies are competitive for the given problem scenarios. As future

work, the application of this methodology to the case of the hydraulic network of a real university campus is planned.

*Abstract ID 127 (Central14, Monday 14:40-15:00)*

### Simulación dinámica de la producción de litio en México

Juan Jaime Rodríguez Manzano\* (TecNM/ IT de Celaya)  
[m2303043@itcelaya.edu.mx](mailto:m2303043@itcelaya.edu.mx) Manuel Dario  
 Hernandez-Ripalda (TecNM/ IT de Celaya); Salvador  
 Hernández - González (Tecnológico Nacional de México en  
 Celaya)

El objetivo de este artículo es realizar un análisis de la cadena de producción de litio en México para proponer los tipos de variables que pueden influir de manera directa en el entorno de la minería de litio extraído de arcilla. Este análisis nos permite identificar las variables que interactúan en este sistema. Para alcanzar el objetivo se realizó una investigación de la industria minera de litio, identificando los recursos y reservas nacionales de litio y los consumidores principales dentro de este sector. También se analizan los principales procesos dentro del sistema como lo son; producción, mercado y demanda, para saber cómo están interconectados entre sí. Se construyó un modelo de sistemas dinámicos con Vensim y este se utilizó para estudiar el comportamiento del suministro de litio en México. Los yacimientos considerados fueron el de Sonora, Zacatecas-San Luis Potosí y Baja California. Se utilizó un modelo sistémico para saber cómo están relacionadas cada una de las variables y posteriormente realizar el modelo. Se encontró que la variable que mas afecta esta relacionada con la velocidad de producción de litio en Bacadéhuachi Sonora ya que esta es la que cuenta con mayor cantidad de litio que puede ser explotado. El pronóstico indica que el yacimiento de Sonora tiene la capacidad teórica suficiente para cubrir la demanda ya que de esta se pueden extraer 15000 toneladas anuales comparado con la demanda inicial requerida que es de 10160 toneladas anuales con una tasa de crecimiento anual de 15% hasta el año 2035 se cubre la demanda requerida de litio. Esta información es de interés para el gobierno mexicano y las empresas automotrices que estén interesadas en producir autos eléctricos en México. La situación del suministro puede mejorarse mediante esfuerzos adicionales para producir el litio de manera industrial.

*Abstract ID 228 (Auditorio Santander Norte, Tuesday 16:40-17:00)*

### Optimización del Sistema de Atención Prehospitalaria: Análisis y Propuestas de Mejora Normativa

Jesús J Salinas Jiménez\* (UNAM)  
[ingenio.sa.sa@gmail.com](mailto:ingenio.sa.sa@gmail.com) Esther Segura Pérez (UNAM  
 Ingeniería ); Daniel A, Alonso Bastos (UNAM Ingeniería )

Este estudio analiza los datos del sistema de atención prehospitalaria de una instancia pública, con el objetivo de evaluar su precisión y veracidad. Mediante un análisis exhaustivo, se evalúan las políticas operativas actuales para identificar áreas de mejora y proponer nuevas políticas que optimicen su funcionamiento normativo y operativo. Se recopilaron datos de diversas fuentes, incluyendo el registro histórico de eventos atendidos de 2018 a 2022, registros médicos, informes de incidentes, así como entrevistas con el personal de urgencias y paramédicos. Se emplearon técnicas avanzadas de procesamiento de datos y análisis estadístico para evaluar la fiabilidad de los datos y detectar posibles sesgos o inconsistencias, como sugieren Smith y Jones (2023) en su análisis sobre avances en el procesamiento de datos en la atención prehospitalaria. Los resultados revelan fortalezas y debilidades en el sistema de atención prehospitalaria analizado. Se identificaron áreas donde los datos son precisos y útiles para la toma de decisiones, así como áreas donde la veracidad de los datos es cuestionable, comprometiendo la eficacia del sistema. Brown y Taylor (2022) destacan la importancia de políticas y prácticas mejoradas en los servicios médicos de emergencia, sugiriendo que cambios normativos pueden aumentar la eficiencia y efectividad. Basándose en estos hallazgos, se proponen nuevas políticas operativas para optimi-

zar el sistema de atención prehospitalaria. Estas políticas se centran en mejorar la recopilación, el análisis y el uso de datos, así como en implementar medidas para garantizar la precisión de la información recopilada, siguiendo las recomendaciones de Williams y Chen (2021) sobre la calidad de los datos en la atención de emergencias.

## 6.67 Statistics1

*Room: Central14, Friday 14:00-15:30*

Session chair: Roxana Lira

*Abstract ID 106 (Central14, Friday 14:00-14:20)*

### Interval-valued data, nonconvex optimization and smoothed analysis

Michal Cerny\* (Prague University of Economics and  
 Business) [cernym@vse.cz](mailto:cernym@vse.cz)

Our problem is motivated by the classical problem studied by various authors: given a dataset of one-dimensional interval-valued data, compute tight upper and lower bounds for the sample variance (see Ferson et al. (2005), "Exact bounds on finite populations of interval data", *Reliable Computing* 11(3), 207-233, and Antoch et al. (2010), "A note on variability of interval data", *Computational Statistics* 25(1), 143-153). While the lower bound is a convex quadratic problem (as variance is a positive semidefinite quadratic form), computing the upper bound is a nonconvex quadratic problem which can be shown to be NP-hard. In the talk we refer to our recent results (with O. Sokol and M. Rada) showing that under a suitable and a quite general stochastic data generating model, the upper sample variance is computable in just a little worse than linear time on average. Moreover, we derive a tail bound showing that the probability of encountering a hard instance, forcing the algorithm to work in exponential time, tends to zero faster than exponentially (as a function of the growing data sample size). This result has a practical implication for the analysis of interval-valued data: although NP-hard in general, in many cases occurring in practice the problem is solvable easily. Our results also admit a smoothed-analysis interpretation in the sense of Spielman and Teng (see "Smoothed analysis of algorithms: Why the simplex algorithm usually takes polynomial time", *Journal of the ACM* 51(3), 385-463). First, we take a hard instance forcing the algorithm to compute slowly (such as an instance from the NP-hardness proof). Then we perturb the input data at random and we derive a bound on the average computing time as a function of the dispersion of data perturbations.

*Abstract ID 342 (Central14, Friday 14:20-14:40)*

### Forecasting Commodity Prices using Futures: The case of copper.

Gonzalo Cortazar\* (Pontificia Universidad Catolica de  
 Chile) [gcortaza@uc.cl](mailto:gcortaza@uc.cl) MARIAVICTORIA ENBERG  
 (Pontificia Universidad Catolica de Chile); Hector Ortega  
 (Pontificia Universidad Catolica de Chile)

This paper analyzes three alternatives for forecasting commodity spot prices and applies them to predicting copper prices. The first is using futures prices from either LME or COMEX. Second, using analysts expectations consensus, reported by Bloomberg. The third is jointly using futures and analysts expectations as input to a stochastic model that smooths its data by applying the Kalman Filter. All three alternatives are compared with the well-known no-change forecast benchmark and among themselves. The results show that when futures prices are relatively higher than spot prices, the model presented is the best alternative for forecasting copper prices at any horizon up until 24 months. Also, when prices are relatively lower than spot prices, the model is the best alternative for long-term forecasts and the LME futures prices for 1 to 12 months.

*Abstract ID 150 (Central14, Friday 14:40-15:00)*

### **Estimación de la demanda mundial de baterías de iones de litio hasta 2050 basada en series de tiempo y el análisis PESTLE**

Felipe D Olivera\* (Universidad Católica del Norte)  
[felipe.rojas@ce.ucn.cl](mailto:felipe.rojas@ce.ucn.cl) Jorge Tabilo (Universidad Católica del Norte); Francisco J. Tapia-Ubeda (Universidad Católica del Norte)

Un tema que sigue tomando cada vez más relevancia en el mundo es la generación de los gases de efecto invernadero, los cuales son una de las principales causas del calentamiento global. Existen diversas iniciativas por parte de las comunidades, los países y las organizaciones internacionales para combatir este problema a través de tecnologías limpias en un marco de políticas públicas e inversiones. De esta forma es que se han comenzado a generar iniciativas, especialmente públicas para incentivar el uso de vehículos eléctricos a nivel mundial. Actualmente existen casos como el de Alemania, que se comprometió a que en los próximos años todos los autos deberán dejar de ser de combustión interna. Esto genera una gran presión en el mercado de vehículos eléctricos y naturalmente en sus cadenas de abastecimiento. Ahora bien, el tema de los vehículos eléctricos sigue siendo muy reciente, por lo mismo, existen pocos datos precisos sobre el futuro de la demanda a nivel regional y mundial y de cómo esto afectará, por ejemplo, las producciones de sus materias primas. Entre las materias primas, el litio es central para la producción de baterías para vehículos eléctricos. Esta incertidumbre redundante en que no hay claridad del crecimiento de los proyectos sobre extracción de litio a nivel global. Es por lo que el objetivo de esta investigación es realizar un pronóstico de la demanda de baterías de litio a nivel global hasta el 2050, considerando los datos disponibles. Para este pronóstico de demanda se aplica el Análisis PESTLE. Así se pueden analizar diversos escenarios de crecimiento de la demanda de vehículos eléctricos. Los resultados permitirán tener una mayor certidumbre respecto a escenarios futuros para la evaluación de proyectos de extracción de minerales tan esenciales como el litio a nivel global a un mediano-largo plazo y de las cadenas de suministro subyacentes.

*Abstract ID 252 (Central14, Friday 15:00-15:20)*

### **Tres escenarios de crecimiento vehicular en la CDMX para 2040**

Roxana Lira\* (UNAM) [roxana.lira@gmail.com](mailto:roxana.lira@gmail.com)

La Ciudad de México es una de las ciudades más pobladas del mundo, lo que conlleva a una gran cantidad de problemas de movilidad urbana. Uno de los principales factores que contribuyen son los automóviles. El exceso de vehículos en las calles de la CDMX provoca congestión vial, aumento de la contaminación ambiental, accidentes viales y escasez de transporte público, entre otros. Por lo tanto, es importante estudiar esta problemática a través de la información disponible con la finalidad de buscar soluciones efectivas. Dos herramientas clave para hacerlo son las bases de datos del INEGI y CONAPO. Estas contienen información detallada sobre la cantidad de automóviles que circulan en la ciudad, así como datos demográficos y económicos que pueden ayudarnos entender este fenómeno. Utilizándolas, es posible realizar pronósticos sobre el crecimiento de los automóviles en la CDMX y contrastarlo con el crecimiento poblacional, lo que permitirá elaborar tres escenarios hacia 2040 con tres técnicas distintas: a) regresión cuadrática, un método estadístico que se emplea para modelar la relación entre una variable dependiente y una variable independiente, asumiendo que la relación entre ambas se puede describir con una función; b) (promedio) móvil doble, utilizado en análisis estadístico y económico para suavizar las fluctuaciones en los datos y detectar tendencias a largo plazo; y c) suavizado exponencial doble, usado para analizar series temporales y predecir un valor futuro en función de observaciones pasadas, combinando dos componentes: nivel y tendencia. Estas metodologías, permitirán conocer el eventual crecimiento de los automóviles en la ciudad, lo que resulta fundamental para la toma de decisiones informadas y eficientes en la gestión de la movilidad urbana.

# Author Index

- Ángel-Bello, Francisco, 33
- A. Souza, Vitor A., 21
- Ablanedo-Rosas, Jose Humberto, 23
- Abundis-Serrano, Andrés Antonio, 45
- Aburto, Luis, 32, 73
- Aceves, Ricardo, 19, 40
- Acosta Vega, Rick K, 52, 54
- Agüero-Tobar, Magdiel Andrés, 23
- Aguirre Guerrero, Daniela, 37
- Alarcón-Bernal, Zaida Estefanía, 19, 40
- Albor, Lina, 26
- Albornoz, Víctor M, 28, 43
- Alcázar, Daniela, 59
- Aldaco Sandoval, Daniela, 34
- Alencar, Luciana H, 24, 37
- Alfaro, Carlos A., 59
- Almeida, Jônatas, 25
- Alonso Bastos, Daniel A., 80
- Alonso Torres, Juan Carlos, 67
- Alonso, José A, 80
- Alonso-Ayuso, Antonio, 19
- Alva-Zavala, Gabriela, 26
- Alvarez Pomar, Lindsay, 79
- Alvarez Sandoval, Sofia, 38
- Alvarez, Patricia, 75
- Alves De Oliveira, Washington, 27, 73
- Alves Esteves, José Jurandir, 61
- Alves, Juliana, 25
- Amaya, Ciro A, 41
- Anaya, Erick, 73
- Andrade, Francisco, 57
- Angarita, Alejandro, 41
- Aponte Huerta, Estefanía, 33
- Araya, Catalina, 20
- Arboleda Rivera, Karol Dahiana, 22
- Arenas-Vasco, Alejandro, 19, 59
- Ariza, David, 45
- Armellini, Guillermo, 69
- Arratia Martinez, Nancy M., 51, 58
- Ascencio C., Luis M., 23
- Atlatenco - Ibarra, Quetzalli, 72
- Avalos Rosales, Oliver, 56
- Avalos-Gaytán, Vanesa, 59, 76
- Avila, Paulina A, 40
- Baigorri, Miguel, 18
- Baldoquin, Maria Gulnara, 19
- Banda, Jose D, 38
- Bao, Yun, 25, 27
- Baquela, Enrique Gabriel E.G., 50
- Baquero, Natalia, 47
- Barrera Ferro, David, 23, 51
- Batres-Guillén, Emilio, 53
- Belderrain, Mischel Carmen, 25, 39
- Beltrán, Jessica, 70
- Beltrán-Pérez, Carlos, 45
- Beltran, Johander J, 49
- Benavides Castillo, Jennifer, 51, 52
- Berger Vidal, Esther, 16
- Bianchi, Guillermo I, 28
- Bianchi, Javiera, 20
- Bicalho, Luis H., 21
- Blanco, Víctor, 30
- Blanquero, Rafael, 44
- Blasco, Pol Llagostera, 25, 27
- Blasiak, Michele, 54
- Blazquez, Carola, 47, 77
- Bojorquez, María Ines, 33
- Bonilla Huerta, Edmundo, 36
- Borges De Araujo, Maria Creuza, 41
- Borrego-Ortega, Antonio, 44
- Bourguet Diaz, Rafael Ernesto, 55
- Boyer, Vincent, 26, 39, 54
- Bucarey, Victor, 73
- Buitrago, Oscar, 47
- Bustos, Mercedes S, 39
- Cáceres, Paola, 24
- Cárdenas-Barrón, Leopoldo Eduardo, 17, 55, 74, 76
- Cárdenas-Curbelo, Liliet, 78
- Cárdenas-Ibáñez, Betzy, 46
- Céspedes-Mota, Armando, 17, 55
- Cabal-Prieto, Adán, 54, 72
- Caballero-Morales, Santiago-Omar, 71
- Cabo Nodar, Marta, 59
- Cabo, Marta, 39
- Cabrera-Guerrero, Guillermo, 52
- Caceres, Leslie-Angelica-Perez, 48, 49
- Caicedo Solano, Nestor, 52
- Caicedo Solano, Nestor E., 39
- Caicedo, Nestor, 43, 63
- Caicedo, Robert H, 51, 52
- Caldera, Axel Q, 41, 67
- Calvete, Herminia I., 20
- Calzada-Ledesma, Valentin, 26
- Camacho Lopez, Angela, 21
- Camacho, Fernando, 16, 70, 75, 76
- Campos Colares Das Dores, Camila C, 42
- Campos, Maria Eduarda, 37
- Campuzano, Manuel J., 39, 52, 54
- Canca, David, 29
- Cancela, Héctor, 31, 43, 54
- Cardenas Sanchez, Alejandra Isabel I, 21
- Cardenas, Laura M, 68
- Cardona-Valdés, Yajaira, 59, 76
- Carrizosa, Emilio, 32, 44
- Carvajal, Jimmy A, 33
- Carvalho Rosa Bergiante, Níssia C R, 25, 34
- Carvalho, Silvia M S, 65
- Casarrubias Vargas, Heriberto, 34
- Casas-Méndez, Balbina, 35
- Casas-Ramírez, Martha-Selene, 37, 46
- Caseño Trindade Arioli, Fernanda, 56
- Castaneda, John Fredy, 15
- Castillo Chavez, Rosa Viridiana, 33
- Castillo, Dagoberto, 47
- Castillo-Jaimes, Tatiana A., 69
- Castrillon-Ocampo, Jorge M, 77
- Castro, Liliana, 33

- Ceciliano, Jose L, 57  
 Cerny, Michal, 80  
 Cid-Garcia, Nestor M, 60  
 Cildo, Marta, 18  
 Cisneros, Jonathan A, 41  
 Cobo, Angel, 26  
 Connio, Nelson, 29  
 Contreras, Rodrigo, 20, 24  
 Cornejo Zúñiga, Óscar, 19  
 Cornejo-Acosta, José Alejandro, 26  
 Corpus, Carlos E., 16  
 Cortés, Enrique, 57  
 Cortazar, Gonzalo, 80  
 Cortes, Marco A, 21, 24  
 Costa, Malena, 43  
 Cristovão Lourenco De Melo, Francisco, 39  
 Curcio, Eduardo, 61
- Dávila, José, 38  
 Dávila, Sebastián, 56, 58  
 Díaz García, Juan Antonio, 64  
 Davila-Pena, Laura, 35  
 De Geyter Messina, Matías, 48  
 De Gusmão, Ana Paula Henriques, 37  
 De La Barra, Felipe, 69  
 De La Cruz M., Israel, 78  
 De La Cruz Márquez, Cynthia Griselle, 53, 55  
 De León Medina, Diego, 56  
 Deibe Blanco, Verónica, 54  
 Del Hoyo Alonso, Rafael, 58  
 Delgado, Eder R., 22  
 Deniz, Simge, 62  
 Diaz Rios, Daniel, 26  
 Do Carmo, Marília, 50  
 Doja, Mihai-Catalin, 25  
 Domínguez Casasola, Saúl, 15  
 Doria, Mario A., 40  
 Drzymalski, Julie, 46
- Echeagaray, Juan, 45  
 Elizalde, Fernando, 38, 41, 57, 67, 70  
 Elizondo Cortés, Mayra, 42  
 Enberg, Mariavictoria, 80  
 Escobar Rodriguez, Laura, 18  
 Escobar, John, 47  
 Escobar, John Wilmer, 50  
 Espinoza Pérez, Andrea T, 17, 24, 79  
 Espinoza Pérez, Lorena, 20  
 Estrada Campos, Alicia, 21  
 Estrada Campos, María G, 21
- Fachini, Ramon F., 21  
 Fernández-López, Reinier, 71  
 Fernandez, Jose, 27  
 Ferreira Dos Santos Neto, Manoel, 37  
 Figueiredo, Tatiane Fernandes, 50  
 Figueroa, Rodrigo, 22  
 Fiorotto, Diego, 27  
 Flores - De La Mota, Idalia, 72  
 Flores Muñiz, José Guadalupe, 64  
 Flores Murillo, Daniela, 34  
 Florez Carreño, Silvia Dianne, 27, 73  
 Freitas Paulo Da Costa, Bernardo, 28  
 Fuentes Figueroa, Edgar, 35  
 Fuentes González, Fabián, 56, 71  
 Fumero, Yanina, 19  
 Furtado, Maria Gabriela Stevanato, 61
- Gómez Rocha, José Emmanuel, 57, 70, 78  
 Gómez Vargas, Mariana, 59  
 Gómez Zavala, Dulce G, 21
- Gómez-Vargas, Nuria, 44  
 Gabriel Baquela, Enrique, 21  
 Gaete, Myriam Raquel, 25  
 Gajardo, Rocío J, 56, 71  
 Galé, Carmen, 20  
 Gallego, Ramon, 15  
 Gallegos, Kevin, 77  
 Galvez Corrales, Emilio, 46  
 Garavito Hernandez, Edwin, 18  
 García Gómez, Yofre, 16  
 García Gutiérrez, Javier, 67  
 García Ramos, Beatriz Alejandra, 36  
 García Valle, Lizeth Armida, 33  
 García Zamarripa, Andrea, 34  
 García, Andrés, 69  
 García, Fernando Fg, 56  
 García, Sara M, 68  
 García-Díaz, Jesús, 26  
 García De Alba Valenzuela, Hector Roberto, 31  
 Garcia, Jesus, 27  
 Garcia, Michael, 23  
 Garcia-Calvillo, Irma Delia, 70  
 Garcia-Vasquez, Karen, 15  
 García Vélez, Juan Carlos, 53  
 Garnica-González, Jaime, 78  
 Garza Mantecón, Victor H, 67  
 Gaviño, Gabriela G, 34  
 Ge, Yuchen, 28  
 Gil, Diana P, 48  
 Gomes Neto, Arsênio, 25  
 Gomez Padilla, Alejandra, 35, 65  
 González Aldana, Manuel A, 34  
 González Fernández, Geraldine, 78  
 González Ramírez, Rosa G, 23, 24, 62, 75  
 González Sóbal, Martín, 68, 72  
 González Velarde, José Luis, 15  
 González Velasco, Julián, 18, 59  
 González, Iván Guillermo, 77  
 González, Juan C, 59  
 González, Pablo, 15  
 González, Valeria, 68  
 González, Victor, 73  
 González-Araya, Marcela C., 23, 25  
 Gonzalez Gallardo, Sandra, 44  
 Gonzalez Marini, Edgar Hipolito Hipolito, 68  
 Gonzalez, Juan, 43  
 Gonzalez-Rodriguez, Leonardo, 63  
 González Zamora, Luis Alfredo, 38  
 Grimaldo Martínez, Alejandro, 60  
 Gubbins, Juan Carlos, 69  
 Guerra Ospina, Paola Andrea, 18  
 Guerra Souza, Ariadne G, 41  
 Guerrero Campanur, Aaron, 23, 36  
 Guerrero Moncada, Carlos, 16  
 Guerrero, Tania, 77  
 Guevara, Alejandro, 30  
 Guevara, Esnil, 28  
 Guevara, Natalia S, 38  
 Gutiérrez, Elena Valentina, 51, 52  
 Gutiérrez-Jarpa, Gabriel E., 47  
 Gutierrez-Padilla, Maria V, 50  
 Gómez Rocha, José Emmanuel, 38
- Hajiaghahi-Keshteli, Mostafa, 64  
 Halskov, Thomas, 32  
 Hernández - González, Salvador, 72, 80  
 Hernández Castellanos, Carlos I, 32, 44, 80  
 Hernández García, Leonel, 33  
 Hernández Gress, Eva Selene, 70, 78  
 Hernández Leandro, Norberto A., 65, 77, 78  
 Hernández, Salvador, 17

- Hernandez-Ripalda, Manuel Dario, 80  
Herrera, Sebastian, 46  
Herrera-Gallegos, Mariana, 37  
Hidalgo Álvarez, Patricio, 33  
Huerta Muñoz, Diana L., 15, 47, 59, 62, 74  
Huerta Ocaña, Diego, 74  
Huguet, Francisco, 27
- Ibarra, Maximiliano, 76  
Ibarra-Rojas, Omar Jorge, 60, 61, 76  
Iranzo, José A., 20
- Jacobo-Romero, Yulitza Yazmin, 62  
Jiménez, Fernando G., 31  
Jiménez, José Alfredo, 17  
Juárez Rivera, Mónica Lizbeth, 33  
Julián Sarmiento, Isaías, 21
- Khan, Md. Al-Amin, 76
- Lüer-Villagra, Armin, 61  
López Gutiérrez, Aniela Gabrielle, 34  
López, Claudia O, 39  
López-Sánchez, Erika, 17  
Lagos Xenes, Luis Miguel, 66  
Lagos, Carolina, 52  
Lagos, Felipe, 73  
Lalla-Ruiz, Eduardo, 24  
Lapo, Luis, 29  
Leal, Alonso, 69  
Leal, Diego F, 34  
Lespay, Hernán, 28, 63, 66  
Leyva-Lopez, Juan C, 21, 24  
Li, Haitao, 57  
Lima, Renato, 71  
Linfati, Rodrigo, 15, 55  
Lira, Roxana, 81  
Lizárraga-Escobar, Rogelio, 67, 70  
Loera Hernández, Imelda De Jesús, 55  
Loera Martínez, Pedro Inés, 77  
Lombana, María Emma, 79  
Lopez-Landeros, Carlos E., 75  
Lopez-Soto, Diana, 47  
Loza-Hernández, Lourdes, 78  
Lucio-Rojas, Juan A, 41, 67  
Luna Reyes, Dolores E, 64  
Luque, Mariano, 44  
Lyra Filho, Christiano, 73  
Lyra, Christiano, 56
- Mac Cawley, Alejandro, 43  
Maldonado, Sebastian, 69  
Mallor, Fermin, 18  
Manotas, Diego, 51  
Manriquez Huizar, Jesus Aram A, 21, 24  
Marín-Hernández, María Isabel, 33  
Maravillo Gómez, Héctor Saib, 63, 64, 74  
Mardones, Cristian, 71  
Marín, Alfredo, 32, 74  
Martínez Quezada, María Del Carmen, 33  
Martínez Rea, Diego, 34  
Martínez Salazar, Iris A, 30, 41, 77  
Martínez, Pamela, 29  
Martínez, Ricardo, 61  
Martínez, Victoria, 43  
Martínez-Flores, José-Luis, 71  
Martínez-Tizoc, Guillermo, 77  
Martínez Díaz, Elizabeth, 49  
Matias, Isaac M, 34  
Mauricio, Cristóbal A, 17, 58  
Mauricio, Cristóbal, 20
- Mauttone, Antonio, 29  
Maya Padrón, Cristina, 58  
Maya-Duque, Pablo, 46, 77  
Medina-González, Sergio Armando, 36  
Mejía-De-Dios, Jesús-Adolfo, 44, 58, 75  
Melián Batista, Belén, 33  
Mena-Reyes, Jorge, 55  
Menares, Franco, 67  
Mendoza Andrade, Abraham, 50  
Mendoza Caceres, Daniel, 49  
Mendoza, Daniel, 49  
Mendoza-Gómez, Rodolfo, 23  
Menezes Firmino Lima, Maria Julia, 37  
Meraz, Julián, 42  
Mercado, Hugo, 43  
Mesa, Juan Antonio, 29  
Micán, Camilo, 43  
Millán, Alberto M, 32  
Miralrio-Pineda, Alan Joel, 45  
Miranda, Alejandro, 69  
Miranda, Jaime, 35  
Miranda-Gonzalez, Pablo A., 33, 46, 50, 61, 77  
Mogollon, Dilan, 18  
Mondschein, Susana, 58  
Monitel-Moctezuma, Cesar Jaime, 54  
Montagna, Jorge Marcelo, 19  
Montalvo-Urquizo, Jonathan, 45  
Montero, Elizabeth, 48, 49, 67  
Montoya Libreros, Juan Esteban, 22  
Montufar, Marco A, 73  
Monzón, Ana Valeria, 17, 72  
Mora Quiñones, Camilo A., 74  
Moraes, Carlos, 65  
Morais, Danielle, 22  
Morales, Maria Ignacia, 52  
Moreno Báez, Valeria Paola, 33  
Moreno Montoya, Marco A, 16  
Moreno-Vega, J. Marcos, 33  
Morillo-Torres, Daniel, 47, 49, 50  
Mosalla Nezhad, Behzad, 64  
Moyano, Mauricio, 52  
Muñoz Quiroga, Carlos Julián, 27, 73  
Muñoz Soro, Jose Félix, 58  
Muñoz, Jose J., 39  
Muñoz, Rafael, 41  
Muñoz, Sebastian, 52  
Muñoz-Herrera, Sebastián, 19  
Munizaga, Rodrigo A, 32  
Munoz, David F, 79  
Murillo, Alexander, 66  
Murillo, Efrain R, 66  
Murray, Lucas, 69
- Nadal-Roig, Esteve, 27  
Najera, Diego, 33  
Navarrete, Jean Paul, 71  
Navarro Saucedo, Luis Fernando, 41, 67  
Negrotto, Daniel, 21  
Niño, Karen Yineth, 47, 64  
Nosedal Sánchez, Jenaro, 67  
Nucamendi-Guillén, Samuel M, 46
- Oberti, Julieta, 54  
Obreque, Carlos, 19  
Ochoa, Gabriela, 48, 49  
Olivera-Benitez, Elias, 23, 36, 46, 50, 61, 62, 75  
Olivera, Felipe D, 81  
Olsen, Mika, 37  
Olvera Toscano, Citlali Maryuri, 53  
Ordaz Zamora, Gael A, 38  
Ordoñez-Guerrero, Leonardo, 61

- Orejuela, Juan Pablo, 43, 74  
 Orozco-Paz, Dorey, 53  
 Ortega, Hector, 80  
 Ortiz, Ernesto, 74  
 Ortiz-Araya, Virna, 15, 55  
 Ortman, Janosch, 28  
 Osorio Castañeda, Cesar D, 74  
 Osorio, Juan Carlos, 43  
 Ospina Ferreira, Santiago, 45, 51  
 Ossa, María Luisa, 59  
 Ozuna, Edith Lucero, 59
- Pájaro García, Duvan Darío, 18  
 Pérez Franco, Marlene, 39  
 Pérez Loaiza, Rodolfo Eleazar, 36  
 Pérez, Benjamin, 42  
 Pérez, Brandon Alonso, 34  
 Pagès-Bernaus, Adela, 55  
 Palacios, Rodrigo, 56  
 Palau-Dávila, Cecilia, 67, 70  
 Palma Cabrera, Osvaldo E, 19, 40  
 Palma, Cristian D, 70  
 Palma, Osvaldo, 43  
 Palomo-Martínez, Pamela J., 37, 46  
 Paredes Rodríguez, Andrés Mauricio, 43, 74  
 Paredes-Belmar, Germán, 47  
 Passos Neto, George Da Mota, 24, 37  
 Peimbert-García, Rodrigo E., 17  
 Peralta, Juan Pablo, 61  
 Pereira, Javier, 22  
 Pestaña Aguilar, Zitlaxochitl, 34  
 Piña Martínez, Ana Laura, 33, 54, 68  
 Piñeyro, Pedro, 31, 35, 43  
 Picanço, Ailson, 25  
 Pinto, Kathia, 77  
 Pla, Lluís, 25, 27, 43  
 Plazola Zamora, Laura, 65  
 Plazola, Laura, 22  
 Pohl, Mauricio, 27  
 Policroniades, Gabriel, 30  
 Portilla Yela, Jennyfer, 51  
 Possani, Edgar, 59  
 Prida-Galindo, Yoelvis, 73  
 Puerto, Justo, 63
- Quezada, Franco, 56, 60  
 Quintana, Patricia, 54  
 Quintanar Sánchez, Diana L, 61  
 Quiroz, Anibal, 35
- Ríos Mercado, Roger, 36  
 Ríos Mercado, Roger Z., 47  
 Ríos Solís, Yasmin Agueda, 15, 29, 36, 41, 60  
 Ríos, Roger, 74  
 Ríos-Mercado, Roger Z., 23  
 Ramírez Chávez, Gerardo, 67  
 Ramírez Oropeza, Abigail E, 34  
 Ramírez, Gerardo, 38  
 Ramírez, Gloria Lucía, 46, 77  
 Ramírez-Nafarrate, Adrian, 17, 62  
 Ramos, Alfredo S, 50  
 Rei, Walter, 28  
 Restrepo, Alejandra María, 30  
 Retana Juárez, Dulce María, 33  
 Reyes-Reyes, Nicolas A, 25  
 Ribeiro Fardin, Laura, 56  
 Rider, Marcos, 56  
 Rios, Roger, 15  
 Rios-Mercado, Roger, 62  
 Risso Cortés, Matías Ignacio, 63  
 Rivera, Hector, 78
- Rivera, Juan C, 19, 20  
 Rivera, Mayra, 73  
 Rivera-Sanchez, Luz Del Carmen, 72  
 Robles, Ismael, 37  
 Rocha, Rocio, 26  
 Rodríguez Calvo, Ericka Zulema, 64  
 Rodríguez Manzano, Juan Jaime, 80  
 Rodríguez, Carlos, 69  
 Rodríguez, Krystel, 76  
 Rodríguez-Escoto, Joel-Novi, 46  
 Rodríguez-Vega, Marcos, 33  
 Rodriguez Alvarez, Javier, 22  
 Rodriguez Jimenez, Luis Fernando, 27, 73  
 Rodriguez-Vazquez, Katya, 30  
 Rojas Romero, Christian P, 68  
 Rojas Trejos, Carlos Alberto, 18  
 Rojas, Omar, 66  
 Rojas-Cuevas, Irma-Delia, 71  
 Rojas-Morales, Nicolas, 48, 49  
 Romero Basurto, Nilse Pamela, 19, 40  
 Romero Morales, Dolores, 32  
 Rosete, Alejandro, 66  
 Rozas, Carlos, 55  
 Rozas, Matías E, 19  
 Rozas-Mellado, Carlos, 15  
 Rubio, Maryely I, 68  
 Rubio, Tomás, 73  
 Rueda, Feizar, 63  
 Ruelas, Samantha, 38, 67  
 Ruiz Martínez, Avril M, 41, 67  
 Ruiz Y Ruiz, Efrain, 58, 61  
 Ruiz Zorrilla Sanchez, Ana Lorena, 37  
 Ruiz, Ana B., 44  
 Ruiz-Barajas, Francisco, 62
- Sánchez Partida, Diana, 21  
 Sánchez, Catalina, 69  
 Sánchez-Ansola, Eduardo, 66  
 Sánchez-Partida, Diana, 71  
 Sánchez-Yepez, Gabriela, 26, 54  
 Saborido, Rubén, 44  
 Sada, Juan Pablo, 41  
 Salas Montenegro, Angélica, 40  
 Salazar Gonzalez, Juan Jose, 26  
 Salazar Sanchez, Sashenka Adamari, 65  
 Salazar, Eduardo, 62  
 Salazar-Aguilar, M. Angélica, 26, 39, 54  
 Salcedo Ramirez, Pedro L, 43  
 Salcedo, Bryan F, 49  
 Salinas Jiménez, Jesús J., 80  
 Salinas-Guerra, Rocio, 58  
 Salles, Andre Assis De, 71  
 San Martín, Sebastian A, 56  
 San Martin, Luis, 28  
 Sanchez Nigenda, Romeo, 57  
 Sansores, Candelaria, 27  
 Santiago, Yara, 65  
 Santos Borbolla, Cipriano Arturo, 78  
 Santos, Cipriano, 57, 70  
 Santos, Edeneide Laura Melo, 37  
 Schuetze, Oliver, 44  
 Schulz-Gonzalez, Valentin H, 54  
 Segura González, Carlos, 26  
 Segura Pérez, Esther, 80  
 Segura, Paula, 32  
 Serrano Cinca, Carlos, 58  
 Smith Cornejo, Neale Ricardo, 55  
 Smith, Neale R., 17, 64  
 Solís Jiménez, Miguel Ángel, 68, 72  
 Solari Carbajal, Gabriel, 16  
 Sosa-Gómez, Guillermo, 66

Soto-Mendoza, Valeria, 61  
Souza, Jordana S, 41  
Stützle, Thomas, 48  
Strechia, Jimena, 54  
Suazo, Fernanda, 17, 20  
Subiabre, Felipe, 58  
Suchan, Karol, 24

Támara Chávez, Roberto Aimar, 52  
Téllez, Andrés, 57  
Tabilo, Jorge, 81  
Tansini, Libertad, 35  
Tapia-Ubeda, Francisco J., 33, 42, 46, 61, 75, 81  
Tavares Bahia, Vitor, 37  
Tejeda Garcia, Rafael, 33  
Testuri, Carlos E., 35  
Tibaldo, Aldana S, 19  
Tichy, Tomas, 65  
Toro, Eliana, 15, 30  
Torres, Luis M, 29, 31  
Torres-Escobar, Rafael, 53  
Tovar Cuevas, José, 51  
Trejo, Joel A., 22, 27, 41  
Treviño Garza, Gerardo, 55  
Trigos, Federico, 40  
Triviño Ortega, Isabel F, 56, 71  
Troncoso, Fredy H, 57

Urban Rivero, Luis Eduardo, 60  
Uribe Centeno, Maria Guadalupe, 72

Vásquez, Óscar C., 17, 58  
Vázquez-Serrano, Jesús Isaac, 17  
Vélez, Mario C, 31  
Vairetti, Carla, 69  
Valdes-Vasquez, Rodolfo, 24  
Valdisio Rodrigues Viana, Gerardo, 42  
Valencia, Orlando, 30  
Valentini, José Ernesto, 50  
Valenzuela-Gonzalez, Ricardo, 75  
Valerio, Gabriela A, 70  
Vargas Niño, James Adolfo, 22  
Vargas, Raimundo, 69  
Vargas, Telmo, 79  
Velásquez-Bermúdez, Jesús María, 20  
Velásquez Camacho, Joaquin, 31  
Velasco, Jonás, 22, 41, 60  
Velasco, Nubia, 51  
Velasco, Natalia, 20  
Vera, Jorge R, 28, 48  
Verde Rodarte, María Cristina, 80  
Vergara, Francisco P., 55, 70  
Viana, Víctor, 43  
Vicencio, Alexis, 66  
Vicencio-Medina, Salvador J, 60  
Vicencio-Ortiz, Julio C., 17  
Villamar, Cristina, 79  
Villanueva Rodriguez, Alexia Fernanda, 37  
Villarreal Marroquin, María G, 45  
Villegas, Juan G, 76  
Villegas, Juan Guillermo, 59  
Vásquez, Óscar C., 20

Weintraub, Andrés, 69

Xavier, Eduardo Candido, 61

Yankovic, Natalia, 58

Zárate, Javier I, 75  
Zúñiga-Núñez, Blanca Verónica, 26

Zambrano, Andrés Felipe, 79  
Zamorano-Ford, Jorge, 56, 71  
Zapata Chavira, Homero A., 47  
Zavala, Araceli, 75



## *THANKS TO OUR SPONSOR!*



UNIVERSIDAD  
**Panamericana**  
Licenciatura en  
Ingeniería Industrial e  
Innovación de Negocios  
Facultad de  
Ingeniería  
Campus Guadalajara

