ISSN 2619-1865

# Proceedings ICPR Americas 2020

COLECCIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

International Conference of Production Research-Americas
(ICPR-Americas). ISSN 2619-1865

**Editorial de la Universidad Nacional del Sur**
Santiago del Estero 639 – B8000HZK – Bahía Blanca – Argentina
Tel.: 54–0291–4595173 / Fax: 54–0291–4562499
www.ediuns.com.ar | ediuns@uns.edu.ar

**Libro Universitario Argentino**

CiN REUN
Red de Editoriales de Universidades Nacionales de la Argentina

Diagramación interior y tapa: Fabián Luzi

No se permite la reproducción parcial o total, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las Leyes 11723 y 25446. Queda hecho el depósito que establece la Ley 11723.

Bahía Blanca, Argentina, marzo 2021

© 2021Ediuns.

# Preface

This volume includes the articles presented at the "Xth International Conference of Production Research-Americas" (ICPR-Americas 2020), held virtually from Bahía Blanca, Argentina from December 9 to 11, 2020. This conference was organized by the local organizing committee of the city of Bahía Blanca and was sponsored by the *International Foundation of Production Research* (IFPR). This conference aims at exchanging experiences and encouraging collaborative work among researchers and practitioners from the Americas and the Caribbean region.

The first ICPR Americas conference, took place in November 2002 in Saint Louis, Missouri, USA under the general theme of "Production Research and Computational Intelligence for Designing and Operating Complex Global Production Systems". This conference generated very positive responses from the attendees. From then on, the ICPR regional meeting was held at alternate years. The second version of the ICPR-Americas was held in August 2004 in Santiago, Chile with the conference theme "Information and Communication Technologies for Collaborative Operations Management". The third edition of the ICPR-Americas held in Curitiba, Brazil, had the general theme of "Rethinking Operation Systems: New Roles of Technology, Strategy and Organization in the America's Integration Era". This instance sought to promote a deep discussion about the role of Production Engineering in the America's integration process. In 2008, the venue of ICPR-Americas was Sao Paulo, Brazil at the Universidade de Sao Paulo Campus. The conference had the theme "The Role of Emerging Economies in the Future of Global Production: Creating New Multinationals". Bogota, Colombia hosted in 2010 the fifth conference with the subject "Technologies in Logistics and Manufacturing for Small and Medium Enterprises". The sixth edition (2012) was organized around the topic "Production Research in Americas Region: Agenda for the Next Decade" by the University of Santiago de Chile in Santiago. In Lima, Peru, the 2014 edition of ICPR-Americas addressed the general theme of "Towards Sustainable Eco-Industrialization through Applied Knowledge.". The eight edition was held at Valparaíso, Chile in 2016, and more recently, in 2018, the ninth conference was held at Bogotá, Colombia under the topic „Improving Supply Chain Management through Sustainability"

ICPR-Americas 2020 was the first edition carried out in virtual mode, due to the COVID-19 pandemic. Thanks to the participation and commitment of the attendees, the conference was carried out successfully, allowing many young researchers to participate in an international conference, in a year in which these opportunities were scarce. The ICPR-Americas meeting space gave them the opportunity to share their work, as well as exchange ideas and points of view, all in the cordial atmosphere that characterizes the ICPR-Americas conferences.

ICPR-Americas 2020 was organized by a local committee of the National University of the South, supported by the university and IFPR.

The conference received more than 280 papers, of which 245 were accepted and presented during the conference. The nationality of the authors was representative of the vast

majority of the countries of America, not only South America, but also Central and North America. Something that enriched the international experience that each of the participants took from the conference.

A couple of events associated with ICPR-Americas 2020 were also held: the "SIMPOSIO INDUSTRIAL" and the "SEMINARIO de ENSAYOS ESTUDIANTILES". Both events allowed to broaden the scope and attendance of the conference. The accepted and presented works of both events are compiled within this volume.

Finally, it only remains for us to thank the National University of the South, especially the Departments of Engineering and Mathematics, as well as the General Secretariat of Science and Technology, for the support provided to carry out the event.

March 2021

Daniel Alejandro Rossit
Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina

Fernando Tohmé
Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina

Gonzalo Mejía Delgadillo
Universidad de la Sabana, Colombia

# Organization

**General Chair**
Daniel Rossit (Universidad Nacional del Sur, Argentina)

**Scientifi Committee Chair**
Fernando Tohmé (Universidad Nacional del Sur, Argentina)

**Organizing Committee**
Nancy López (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Antonella Cavallin (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Adrián Toncovich (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Ernesto Castagnet (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Diego Rossit (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Mariano Frutos (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Daniel Carbone (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Luciano Sívori (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Adrián Castaño (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Martín Safe (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Marisa Sánchez (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Agustín Claverie (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Fernando Nesci (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Carla Maceratesi (CONICET, Argentina)

**Program Committee**
Adrián Toncovich (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Mariano Frutos (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Antonella Cavallin (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Marisa Analía Sánchez (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Martín Safe (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Diego Gabriel Rossit (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Máximo Méndez Babey (Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Spain)
Héctor Cancela (Universidad de la República, Uruguay)
Pedro Piñeyro (Universidad de la República, Uruguay)
Sergio Nesmachnow (Universidad de la República, Uruguay)
Adrián Ferrari (Universidad de la República, Uruguay)
Marcus Ritt (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil)
Marcelo Seido Nagano (Universidade do São Paulo, Brazil)
José Framiñan (Universidad de Sevilla, Spain)
Rubén Ruiz (Universidad Politécnica de Valencia, Spain)

Begoña González Landín (Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Spain)
Ricardo Aguasca Colomo (Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Spain)
Roger Ríoz-Mercado (Universidad de Nueva León, Mexico)
Enzo Morosini Frazzon (Federal University of Santa Catarina, Brazil)
Ciro Alberto Amaya Guio (Universidad de los Andes, Colombia)
Cihan Dagli (Missouri University of Science and Technology, USA)
Shimon Nof (Purdue University, USA)
Bopaya Bidanda (University of Pittsburgh, USA)
Sergio Gouvea (Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brazil)
Edson Pinheiro (Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brazil)
Fernando Deschamps (Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brazil)
Cecilia Montt Veas (Pontifícia Universidade Católica de Valparaíso, Chile)
Óscar C. Vásquez (Universidad de Santiago de Chile, Chile)
Pedro Palominos (Universidad de Santiago de Chile, Chile)
Luis Ernesto Quezada Llanca (Universidad de Santiago de Chile, Chile)
Dusan Sormaz, (Ohio University, Athens, USA)
Gursel Suer (Ohio University, Athens, USA)
José Ceroni (Pontifícia Universidade Católica de Valparaíso, Chile)
Karen Y. Niño (Universidad Militar Nueva Granada, Colombia)
Nubia Velasco (Universidad de los Andes, Colombia)
Gonzalo Mejía Delgadillo (Universidad de la Sabana, Colombia)
Jairo Rafael Montoya Torres (Universidad de la Sabana, Colombia)
William Javier Guerrero Rueda (Universidad de la Sabana, Colombia)
Leonardo Jose Gonzalez Rodriguez (Universidad de la Sabana, Colombia)
Luis Alfredo Paipa Galeano (Universidad de la Sabana, Colombia)
Alfonso Tullio Sarmiento Vasquez (Universidad de la Sabana, Colombia)
Víctor Viana Céspedes (Universidad de la República, Uruguay)
Diego Ricardo Broz (Universidad Nacional de Misiones, Argentina)
Aníbal Blanco (CONICET, Argentina)
Alberto Bandoni (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
José Luis Figueroa (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Mauricio Miguel Coletto (Universidad Nacional de Río Negro, Argentina)
Alejandro Olivera (Universidad de la República, Uruguay)
Sandra Robles (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Daniela Alessio(Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Frank Werner (Otto-von-Guericke-University Magdeburg, Germany)
María Clara Tarifa (Universidad Nacional de Río Negro and CONICET, Argentina)
Fernanda Villarreal (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Valentina Viego (Universidad Nacional de Río Negro and CONICET, Argentina)
Lorena Brugnoni (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Jorge Lozano (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Guillermo Crapiste (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)

Facundo Iturmendi (Universidad Nacional de Río Negro, Argentina)
Ana Maguitman (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Santiago Maiz (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Héctor Chiacchiarini (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Gabriela Pesce (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Susana Moreno (CONICET, Argentina)
María Teresa González (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Ignacio Costilla (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Adrián M. Urrestarazu (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Elda Monetti (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Fabio Miguel (Universidad Nacional del Río Negro, Argentina)
Diego Hernán Peluffo-Ordóñez (Yachay Tech, Ecuador)
Pedro Ballesteros Silva (Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia)
Leandro Leonardo Lorente Leyva (Universidad Técnica del Norte, Ecuador)
Katty Alicia Lagos Ortiz (Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador)
José Medina-Moreira (Universidad de Guayaquil, Ecuador)
Miguel Heredia (Inst. Tecn. De Gustavo Madero, Tecnológico de Nacional de México, Mexico)
Israel David Herrera Granda (Universidad Técnica del Norte, Ecuador)
Andrés Fioriti (CONICET, Argentina)
Fernando Delbianco (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Claudio Delrieux (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Katyanne Farias (École des Mines de Saint-Etienne, France)
Ana Carolina OIivera (Universidad Nacional de Cuyo and CONICET, Argentina)
Francesco Pilati (University of Trento, Italy)
Yanina Fumero (INGAR, Argentina)
Gabriela Corsano (INGAR, Argentina)
Marco Cedeño Viteri (Universidad Tecnológica de Chile, INACAP, Chile)
Marcela C. González Araya (Universidad de Talca, Chile)
Leandro Rodriguez (Universidad Nacional de San Juan and CONICET, Argentina)
Juana Zuntini (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Natalia Urriza (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
María Angélica Viceconte (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Marianela De Batista (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
Pau Fonseca i Casas(Universtitat Politècnica de Catalunya, Spain)
Ariel Behr (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil)
José Fidel Torres Delgado (Universidad de los Andes, Colombia)
Sepideh Abolghasem Ghazvini (Universidad de los Andes, Colombia)
Alex Ricardo Murcia Cucaita (Universidad de los Andes, Colombia)
Adriana Lourdes Abrego Perez (Universidad de los Andes, Colombia)
Camil Martinez (Universidad de los Andes, Colombia)
Jorge Luis Chicaiza Vaca, (Dortmund Technical University, Germany)
Fernando Daniel Mele (Universidad Nacional de Tucumán, Argentina)

Humberto Heluane (Universidad Nacional de Tucumán, Argentina)
Jorge Marcelo Montagna (INGAR, Argentina)
Melisa Manzanal (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Gustavo Ramoscelli (Universidad Nacional del Sur, Argentina)
José María Cabrera Peña (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Spain)
Francisco Javier Rocha Henríquez (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, pain)
Maarouf Mustapha (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Spain)
Carlos Hernández Hernández (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Spain)
Dagoberto Castellanos Nieves (Universidad de La Laguna, Spain)
Martha Ramírez Valdivia (Universidad de la Frontera, Chile)
Sri Talluri (Michigan State University, USA)
Dmitry Ivanov (Berlin School of Economics and Law, Germany)
Pietro Cunha Dolci (Universidade Santa Catarina do Sul, Brazil)
Carlos Ernani Fries (Universidade Federal de Santa Catarina, Brazil)
Claudemir Tramarico (Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brazil)
Eduardo Ortigoza (Universidad Nacional de Asunción, Paraguay)
Liang Gao (Huazhong University of Science and Technology, China)
Carlos Contreras Bolton (Universidad de Concepción, Chile)
Marcela Filippi (Universidad Nacional de Río Negro, Argentina)
María Beatriz Bernabé Loranca (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Mexico)
Fernando Espinosa (Universidad de Talca, Chile)
Patrick Hirsch (University of Natural Resources and Life Sciences, Austria)
Erfan Babaee Tirkolaee (Mazandaran University of Science and Technology, Iran)
Albert Ibarz (Universidad de Lerida, Spain)
Darla Goeres (Montana State University, USA)
Diane Walker (Montana State University, USA)
Gabriela Vinderola (Universidad Nacional del Litoral and CONICET, Argentina)
Pedro Rizzo (INTA, Argentina)
Lorena Franceschinis (Universidad Nacional del Comahue and CONICET, Argentina)
Vítor Alcácer (Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal)
Marcela Ibañez (Universidad de la República, Uruguay)
Diego Passarella (Universidad de la República, Uruguay)
Krzysztof Polowy (Poznan University of Life Sciences, Poland)
Marta Glura (Poznan University of Life Sciences, Poland)
Axel Soto (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Carlos Lorenzetti (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Rocío Cecchini (Universidad Nacional del Sur and CONICET, Argentina)
Eduardo Xamena (Universidad Nacional del Salta and CONICET, Argentina)
Diego Rodriguez (Universidad Nacional de Salta, Argentina)
Silvio Gonnet (Universida Tecnológica Nacional and CONICET, Argentina)
Diego Pinto-Roa (Universidad Nacional de Asunción and CONACYT, Paraguay)
Ángel Augusto Roggiero (Univesidad Nacional de Cuyo, Argentina)

Claudia Noemí Zárate (Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina)
Alejandra María Esteban (Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina)
Carlos Vecchi (Universidad Nacional del Nordeste, Argentina)
Ângela de Moura Ferreira Danilevicz (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil)
Germán Rossetti (Universidad Nacional del Litoral, Argentina)
Marcelo Tittonel (Universidad Nacional de La Plata, Argentina)
César Pairetti (Universidad Nacional de Rosario, Argentina)
Victor Albornoz (Universidad Técnica Federico Santa María, Chile)
Simone Martins (Universidade Federal Fluminense, Brazil)
Antonio Mauttone (Universidad de la República, Uruguay)
Débora Ronconi (Universidade de Sao Paulo, Brazil)
Libertad Tansini (Universidad de la República, Uruguay)
Carlos Testuri (Universidad de la República, Uruguay)
Javier Dario Fernandez Ledesma (Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia)
Carlos Romero (Technical University of Madrid, Spain)
Julio Arce (Universidade Federal do Paraná, Brazil)
Pete Bettinger (University of Georgia, USA)
Pascal Forget (Université du Québec à Trois-Rivières, Canada)
Sergio Maturana Valderrama (Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile)
Gilson Adamczuk Oliveira (Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brazil)
Juan José Troncoso Tirapegui (Universidad de Talca, Chile)
Luis Diaz-Balteiro (Technical University of Madrid, Spain)
Marcio Pereira da Rocha (Universidade Federal do Paraná, Brazil)
Jamal Toutouh (Massachusetts Institute of Technology, USA)
Maico Roris Severino (Universidade Federal de Goiás, Brazil)
Joaquín Orejas (Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina)

ICPR-Americas 2020

## Sponsors

IFPR
International Foundation
for Product Research

UIBB
UNION INDUSTRIAL DE BAHIA BLANCA

EPIO
Escuela de Perfeccionamiento
en Investigación Operativa

aacini
ASOCIACION ARGENTINA DE CARRERAS
DE INGENIERIA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
BAHIA BLANCA

Departamento
de Matemática

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE
Ingeniería

# ÍNDICE


## PLENARY DISSERTATIONS

**Manufacturing Scheduling: Old solutions for new problems?** Jose M Framinan. **P. 28**

**Perspectives and trends of Industry 4.0 in Latin America.** Gonzalo Mejía Delgadillo. **P. 30**

**Digitalization of manual production and assembly processes for smart factories of the future.** Francesco Pilati. **P. 31**

**Managing Macro Level Supply Chain Disruptions: Lessons from COVID-19.** Srinivas Talluri. **P. 33**

## GENERAL SESSION

**Advanced Energy Management: a review on Energy Management and I4.0.** Caio Cesar Ferreira, Sergio E. Gouvea da Costa, Edson Pinheiro de Lima and Fernando Deschamps. **P. 36**

**A simulation-optimization approach for the household energy planning problem considering uncertainty in users preferences**. Diego Gabriel Rossit, Sergio Nesmachnow, Jamal Toutouh and Francisco Luna. **P. 40**

**Seleção de um Sistema de Gerenciamento de Transportes numa Empresa do Setor Educacional.** Goreth de Carvalho Gonçalves, Claudemir Leif Tramarico and Fernando Augusto Silva Marins. **P. 55**

**Desarrollo de un modelo matemático para el problema de enrutamiento e inventario con múltiples depósitos (MDIRP)**. Javier Arias-Osorio and Erick Saenz Hoyos. **P. 70**

**Estimating the Dynamic Impact of COVID-19 State-level Mobility Interventions in Brazil**. Thyago C. C. Nepomuceno, Marcele Elisa Fontana and Thalles Vitelli Garcez. **P. 80**

**Desenvolvimento de produto Lean e Green: um estudo comparativo entre PMEs Brasileiras e Japonesas**. Gisele Piovesan, Gilson Oliveira, Shoji Takechi, Kim Tan and Dalmarino Setti. **P. 93**

**Multi-objective optimization of a rotary dryer in a semi-dynamic state using evolutionary algorithms**. Benjamín Barán, César Oviedo and Michel Galeano. **P. 108**

**Modelado mecanístico de procesos de molienda de maíz: Calibración de parámetros para el modelado por elementos discretos (DEM)**. Manuela Quezada Henry, Alejandro Chiaravalle, Juliana Piña and Ivana Cotabarren. **P. 121**

**The time-lagged effect problem on (un)truthful data, a case study on COVID-19 outbreak**. Luis Rojo-González. **P. 136**

**Nuclear Safety Management after Fukushima accident. A systematic and critical review of the state of the art.** Gregorio Acuña, Marcelo Gimenez and Marisa Sanchez. **P. 150**

**Planejamento de Vendas e Operações e Planejamento Integrado de Negócios em um Banco Privado do Brasil.** Jefferson Barbosa Araujo, Claudemir Leif Tramarico and Fernando Augusto Silva Marins. **P. 165**

**Application of the AHP method to assist the strategy of bike share station positioning in the city of São Paulo**. Emannuell Cenzi, José João Manrique Franco, Marcelo Rudek and Eduardo de Freitas Rocha Loures. **P. 179**

**Hacia el desarrollo de una movilidad inteligente para la ciudad de Bahía Blanca: Primer enfoque sobre la caracterización de la flota vehicular del microcentro.** Yamila Soledad Grassi, Nélida Beatriz Brignole and Mónica Fátima Díaz. **P. 189**

**Inventario de Emisiones de la Aviación Civil, Navegación Marítima y Ferrocarriles de la ciudad de Bahía Blanca para el año 2018.** Yamila Soledad Grassi, Nélida Beatriz Brignole and Mónica Díaz. **P.204**

**Minimizing the Bullwhip Effect by Forecasting Supply Chain Demand: Case Study of the Argentine Automotive Sector**. Claudio Aballay, Luis Quezada, Miguel Alfaro, Guillermo Fuertes, Marc Dahmen and Manuel Vargas. **P. 219**

**Power Scheduling with Interruptions for Residential Demand in Smart Grid**. Sebastián Taboh, Isabel Méndez-Díaz and Paula Zabala. **P. 229**

**Residents' perception from a Brazilian municipality about the COVID-19 social distancing period**. Marcele Elisa Fontana, João Paulo Santos Aragão and José Leão. **P. 244**

**Computational system for quantitative intra-criterion evaluation in subjective criterion**. Marcele Elisa Fontana and Vilmar Santos Nepomuceno. **P. 256**

**Mineração de processos e aprendizado de máquina aplicado ao processo de empréstimos pessoais**. Pedro Boareto and Silvana Detro. **P. 267**

**Modelos de optimización para la planeación táctica de la operación de recolección de residuos sólidos: Caso de estudio en Colombia**. Angie Paola Vargas, Santiago Jaramillo, Francisco Rangel, Daniel Villa and Juan G. Villegas R. **P. 281**

**Prediction of Viscoelastic Behavior of LDPE Produced in High-Pressure Tubular Reactors**. Maira Dietrich, Adriana Brandolin, Claudia Sarmoria and Mariano Asteasuain. **P. 296**

**Efficiency analysis and cavitation prediction: Choice of the most suitable propeller for a Brazilian Navy ship**. Igor Pa Costa, Sérgio Mn Maêda, Luiz Fhsb Teixeira, Arthur Pa Costa, Carlos Fs Gomes and Marcos Santos. **P. 300**

**Comparative analysis between waterjet and conventional propulsion: A new possibility for use in Brazilian Navy Ships**. Igor Costa, Sérgio Mn Maêda, Luiz Fhsb Teixeira, Arthur Pa Costa, Carlof Fs Gomes and Marcos Santos. **P. 312**

**System dynamics for flood impact assessment. Case study of two municipalities in South America**. Nicolas Giedelmann Lasprilla, Carla Andrea Ocampo Terceros, Elyn L Solano Charris and William J Guerrero Rueda. **P. 326**

**Análisis multicriterio aplicado a la selección de un Plan Agregado de Producción.** Luciana Tabone, Verónica Mortara, Antonio Morcela, Ignacio Boloquy and Jacqueline Bounoure. **P. 330**

**A Computer Vision based Gaze Following Application: Contribution in COVID-19 Scenario.** George Martins Silva, Emannuell Dartora Cenzi, Matheus Henrique Sanches Maziero, Marcelo Rudek and Anderson Luis Szejka. **P. 343**

**A production planning MILP optimization model for a manufacturing company**. Juan Antonio Cedillo-Campos, Neale R. Smith, Rosa G. González-Ramírez, Julio Alonso Stocker, Joaquin Alonso Stocker and Ronald G. Askin. **P. 354**

**Alistamiento de pedidos en un almacén de comercio electrónico: Una revisión.** Fabian Alexander Torres Cardenas, Carlos Eduardo Diaz Bohorquez, Katia Lineth Merlano Canoles and Karina Lizzeth Castellanos Pico. **P. 366**

**O impacto da pandemia COVID-19 nas operações econômicas da "Indústria de Alimentos" no Brasil: Uma Pesquisa documental sobre passado, presente e o futuro**. Gleison Hidalgo Martins, Evelin Bortolon and Sonia Ferreira Martins. **P. 381**

**An operational planning model to support first mile logistics for small fresh-produce growers.** Alvaro M. Majluf-Manzur, Rosa Guadalupe Gonzalez Ramirez, J. René Villalobos and Raimundo Velasco Paredes. **P. 396**

**Digital Twin e PHM para Otimização de Níveis de Inventário.** Joceir Chaves, Eduardo Loures, Eduardo Santos, Julio Silva and Ricardo Kondo. **P. 411**

**Hybrid method PROMETHEE-SAPEVO-M1: multicriteria evaluation of River Combat Vessels to support Amazon defense**. Miguel Moreira, Marcos Santos and Carlos Gomes. **P. 420**

**Analysis of Packaging Losses in Cocoa Butter Production**. Amanda Morais Almeida, Aline Patricia Mano and Sérgio Renato Teixeira Nascimento. **P. 435**

**Diretrizes para projetos de IIoT em contexto CPS**. Júlio Silva, Eduardo Loures, Eduardo Santos, Ricardo Kondo and Joceir Chaves. **P. 445**

**Review: Cadenas de Suministro, desde la colaboración de eslabones a la gestión de cadenas sustentables**. Natacha Pino. **P. 458**

**Applying a Decision Model to Evaluate the Influence of Digital Transformation Technologies on TOGAF Architecture Principles**. Izabelle C. Hannemann de Freitas, Sarah G. Rodrigues, Eduardo de Freitas R. Loures and José Marcelo A. P. Cestari. **P. 473**

**El gasto energético de los hogares en Argentina: ¿por qué estudiarlo para mejorar la eficiencia energética?** María Florencia Zabaloy and María María Ibáñez Martín. **P. 486**

**A branch and bound method to minimize the total flow time in a permutation flow shop with blocking and setup times**. João V. S. Robazzi, Marcelo S. Nagano and Mauricio I. Takano. **P. 490**

**Suporte a tomada de decisão em healthcare usando BPMN e DMN**. Pedro Boareto, Silvana Detro and Eduardo Santos. **P. 500**

**Mathematical Modeling of ARGET Copolymerization of Styrene and Acrylonitrile. I: Experimental Validation**. Cecilia Fotunatti, Claudia Sarmoria, Adriana Brandolin and Mariano Asteasuain. **P. 515**

**Mathematical Modeling of ARGET Copolymerization of Styrene and Acrylonitrile. II: Efficient Calculation of Bivariate Distributions using Parallel Computing.** Esteban Pintos, Cecilia Fortunatti, Adriana Brandolin, Claudia Sarmoria and Mariano Asteasuain. **P. 525**

**ERP Integration with Performance Analytics: a Systematic Literature Review**. Thais C. Pfutzenreuter and Edson Pinheiro De Lima. **P. 536**

**Avaliação de Interoperabilidade Empresarial: Uma revisão sistemática da literatura**. Angélica Duarte Lima and Eduardo de Freitas Rocha Loures. **P. 550**

**Evaluación de la incorporación de residuos de caucho en hormigones para elementos de protección vial.** Ana Giselle Cressa and Carlos Baronetto. **P. 563**

**Increasing productivity of a beef production line using Lean 6 Sigma.** Martha Ramírez-Valdivia and Viviana Vásquez. **P. 575**

**COVID-19 Pandemic Effects on the Idiosyncratic Risk of the Brazilian and Emerging Markets.** Andre Assis de Salles. **P. 590**

**Gas turbines inlet air cooling: mathematical analysis of Brazilian Navy's ships propulsion efficiency**. Pedro M Diniz, Alex Gimenez, Sérgio M N Maêda, Igor P A Costa, Carlos F S Gomes and Marcos Santos. **P. 601**

**Reducing heat emission in discharge ducts and increasing the global energy efficiency through energy cogeneration**. Alex Gimenez, Pedro M Diniz, Igor P A Costa, Sérgio M N Maêda, Carlos F S Gomes and Marcos Santos. **P. 613**

**Process Mining and Value Stream Mapping: an incremental approach**. Mario Nawcki, Gabriel Zanon, Lícia Santos, Eduardo Santos, Anderson Szejka and Edson Lima. **P. 625**

**Agile DMAIC Cycle: An Approach Based on Process Mining.** Renan Prado, Wilson Portela, Márcio Catapan and Eduardo Portela. **P. 639**

**Environmental impact assessment of industries through a multicriteria decision-making analysis.** Juan Martín Mainardi-Remis, Dolores Gutiérrez-Cacciabue and Verónica Beatriz Rajal. **P. 654**

**Exact resolution of the Vehicle Routing Problem with Flexible Time Windows**. Lucía Barrero, Rodrigo Viera, Franco Robledo, Claudio Risso, Sergio Nesmachnow and Andrei Tchernykh. **P. 658**

**Determinants of Smart city commitment among citizens from Bahía Blanca, Argentina**. María Verónica Alderete. **P. 673**

**Adecuada asignación de los recursos en sistemas de servucción bajo enfoque Lean Services: caso de estudio industria de la hospitalidad**. Hernando Garzón Saenz and Andres Redchuk. **P. 690**

**Aportes del enfoque Multimetodológico a la gestión de problemáticas derivadas del COVID-19. Avances para una intervención sistémica en grupos poblacionales**. Hernán Van Straaten, Melany Segarra Marinetti and Maria Alejandra Castellini. **P. 705**

**Modelo multicritério de apoio a tomada de decisão, baseado em Sistema de Informação Geográfico, para a gestão de acidentes de trânsito**. Antônio Bezerra, Murilo Damasceno, Cristiany de Souza, Joana Peixoto, Thomas Gonçalo and Eric Ferreira. **P. 720**

**Análise das dimensões da inovação pela ótica das camadas de gestão e operacionais.** Osvaldo Garcia, George Silva, Diego Nascimento and Eduardo Rocha Loures. **P. 735**

**Transición Energética: Interacciones estratégicas ante la redistribución (o no) de impuestos.** David-Alejandro Rivera-Correa and Damián-Emilio Gibaja-Romero. **P. 747**

**Transparência governamental em tempos de pandemia do COVID-19.** Alcenir Vergilio Negri. **P.769**

**Current problems to achieve interoperability, influenced by the process domains, difficulties and challenges for the logistics area in its horizontal and vertical integration**. Tainá da Rocha, Arthur Beltrame Canciglieri, Anderson Szejka and Osiris Canciglieri Junior. **P. 777**

**Un modelo de medición de la calidad del servicio: Caso de una empresa de mantenimiento de motores**. Pedro Palominos, Juan Hernandez, Luis Quezada, Astrid Oddershede and Claudio Macuada. **P. 786**

**Simulação do agendamento de horários em um restaurante universitário e seu impacto no tempo de espera em filas**. Thayse Duarte de Oliveira, Gustavo Valentim Loch, Tiago Lino Bello, Daniela Miray Igarashi, Lucas Lamy, Ivan Moyses Guimarães and Gilmar Schewtschik Filho. **P. 792**

**Generación de valor en el área de Finanzas de una organización de servicios de salud.** Luciana Tabone, Verónica Mortara and Alicia Zanfrillo. **P. 807**

**A study on a new hybrid metaheuristic based on the black hole algorithm for clustering problems**. Felipe Kauai, José Pécora Junior and Leonardo de Lima. **P. 822**

**Forecasting Demand in Supply Chain for Automotive Spare Parts: Preliminary Literature Review.** Lourdes Loza-Hernández, Ma. de Lourdes Nájera López, Javier García-Gutiérrez, Rubén Vázquez Carbajal and Victor Sánchez Guzmán. **P. 835**

**Atributos em modelos de maturidade para cadeias de suprimento inteligentes.** Gabriella Moreira, Lucas Coelho, Vinícius Comin, Silvana Detro and Eduardo Portela. **P. 851**

**Estudio de capacidad de producción en sistemas de producción de calzado basado en simulación**. Florencia Dornes, Daniel A. Rossit and Nancy B. López. **P. 865**

**Medição de desempenho baseado em dados para máquinas: Revisão sistemática de literatura.** Gleison Hidalgo Martins, Pablo Deivid Valle, Silvana Pereira Detro and Fernando Deschamps. **P. 875**

**Simulación de eventos discretos para la estimación del nivel de servicio en un laboratorio de análisis de materiales**. Josué Rojas-Rodríguez, Gaston Vertiz-Camaron, Jenaro Nosedal-Sánchez and Javier García-Gutiérrez. **P. 890**

**Despacho óptimo de buses eléctricos bajo incertidumbre en los tiempos de viaje.** Karam Kharrat, Victor Albornoz and Linco Ñanco. **P. 905**

**Filosofia Lean em ambientes acadêmicos: Um estudo de caso em uma organização de nível técnico**. Jordana Paula Berkenbrock, Edson de Carvalho Ramos, Marcelo Trentin and Flavio Trojan. **P. 917**

**Minimizing total implementation cost of a 2-D indoor localization system with a constant accuracy for underground mine tunnels**. Andrea Teresa Espinoza Pérez, Daniel Rossit and Oscar C. Vásquez. **P. 931**

**Utilização do método PDCA para melhoria de proces-sos: estudo de caso em um centro de distribuição ali-mentícia.** Maressa Fontana Mezoni and Sergio Luiz Ribas Pess. **P. 937**

**Utilization of Rice Husk (OryzaSativa) for the Elaboration of an Agglomeraet Material for the Construction of Housing in Cucuta, Norte de Sanrander, Colombia**. Lizeth Alfonsina Portilla Villarreal, José Alfredo Gutiérrez Durán, Yerson Fabián Quitian Osorio and Maribel Gómez Peñaranda. **P. 950**

**Gestion de inventarios para una pyme**. Paloma Lillo, Cecilia Montt, Astrid Oddershede, Luis Quezada and Alejandra Valencia. **P. 958**

**Current Issues in Flexible Manufacturing using Multicriteria Decision Analysis and Ontology Based Interoperability in an Advanced Manufacturing Environment**. Matheus Beltrame Canciglieri, Athon Francisco Curi Staben de Moura Leite, Eduardo de Freitas Rocha Loures, Osiris Canciglieri Junior, Y.M. Goh and Radmehr Monfared. **P. 964**

**Estudio de Caso sobre el Cumplimiento de los Principios de Gestión de la Calidad Según la Norma ISO 9001 Versiones 2008 y 2015, de los Empleados de Dos Empresas Cafeteras de Nariño Colombia.**. Lizeth Alfonsina Portilla Villarreal, Martha Ramírez-Valdivia and Lorena Alexandra Portilla Villarreal. **P. 977**

**Sistema innovador de producción de agua segura: análisis económico y comparación con otras alternativas**. Jorge Emilio Almazan, Miguel Cervantes-Schamun, Dolores Gutierrez Cacciabue and Verónica Beatriz Rajal. **P. 995**

**Assessing funding options for digital transformation: a study with specialists.** Rafaela Plantes Pavloski, Fernando Deschamps, Edson Pinheiro de Lima, Rosemary Francisco and Eduardo Rocha Loures. **P. 999**

**Implementação de um modelo de simulação na indústria moveleira.** Angelo Rocha, Fernando Deschamps and Silvana Detro. **P. 1005**

**A Multiple-Criteria Directional Measure for Resource Management in Hospitalizations.** Thyago C. C. Nepomuceno, Wilka M. N. Silva and Késsia T. C. Nepomuceno. **P. 1016**

**Long-term evaluation of energy efficiency measures in transport, case study Paraguay.** Manuel Olmedo, Eduardo Ortigoza, Diana Valdez, Richard Ríos and Victorio Oxilia. **P. 1022**

**Método multicriterio grupal para decisiones rutinarias**. José Francisco Zanazzi, José Luis Zanazzi and Daniel Pontelli. **P. 1034**

## SPECIAL SESSION: INDUSTRY 4.0

**Increasing Confidence in Industry 4.0 through new Software Verification and Validation Techniques.** Martin Larrea and Dana Urribarri. **P. 1039**

**Modelling the Dynamics of a Smart Factory.** Marisa Sánchez, Daniel Rossit and Fernando Tohmé. **P. 1054**

**Integración de ROS y Tecnomatix para el desarrollo de gemelos digitales en sistemas de manufactura flexible.** Carolina Saavedra Sueldo, Sebastian A. Villar, Mariano De Paula, Silvia B. Urrutia and Gerardo G. Acosta. **P. 1069**

**Data Analytics support for the Integrated Planning of Cutting Orders in Banana Crops harvesting: a case study in Colombia**. Carlos Paternina-Arboleda, Yanelis Payares-Osorio, Luis E. Ramirez-Polo and Benjamin Thomas Hazen. **P. 1084**

**A proposal Roadmap to implement Industry 4.0 in SMEs.** Jose Mauricio Mottin de Andrade, Eduardo de Freitas Rocha Loures, Anderson Luiz Szejka and Osiris Canciglieri Junior. **P. 1097**

**Digital transformation framework for adequacy of maintenance systems to Industry 4.0.** André Venâncio, Eduardo Loures, Ricardo Diogo, Alysson Lumikoski, Neri dos Santos and Fernando Deschamps. **P. 1109**

**The emergence of new business and operating models under the Industrial Digital Paradigm Industrial Internet of Things (IIoT), Platforms, and Artificial Intelligence/Machine Learning (AI/ML).** Federico Walas Mateo and Andres Redchuk. **P. 1123**

**Análise de Maturidade da Indústria 4.0: foco em Países Emergentes.** Gustavo de Melo Silva, Gilson Adamczuk Oliveira, Marcelo Gonçalves Trentin and Dalmarino Setti. **P. 1133**

**Developing a Resource-based Manufacturing Process Capability Ontology.** Dusan Sormaz, Arkopaul Sarkar, David Koonce and Sharmake Farah. **P. 1147**

**Process Plan Reasoning based on SPARQL Extension.** Arkopaul Sarkar and Dusan Sormaz. **P. 1162**

**A Novel Framework for the Shop-floor Scheduling Nervousness.** Juan M. Novas. **P. 1178**

**Modelo de Maturidade PLM (Product Lifecycle Management) com Conceitos da Indústria 4.0 – Avaliação com base no método AHP.** André Luiz Micosky, Kássio Cabral Pereira Dos Santos, Eduardo de Freitas Rocha Loures and Osíris Canciglieri. **P. 1182**

**Desarrollo de herramientas para la gestión óptima de envases vacíos de fitosanitarios y sus contenidos residuales.** Antonela Elisa Sorichetti, Mariana Gonzalez Prieto, Andrea Alejandra Savoretti, Silvia Elena Barbosa and José Alberto Bandoni. **P. 1197**

**Operation Skipping Flow Shop Scheduling and Industry 4.0.** Daniel Alejandro Rossit, Adrián Toncovich, Diego Gabriel Rossit and Sergio Nesmachnow. **P. 1212**

**Future research agenda to understanding the Sustainable Business Model in Industry 4.0.** Grazielle Fatima Gomes Teixeira, Osiris Canciglieri Junior and Anderson Luis Szejka. **P. 1222**

**Universities Best Practices in Open Innovation and R&D.** Michele Marcos de Oliveira, Osiris Canciglieri Junior and Bernardo Reisdorfer Leite. **P. 1237**

**Revisiting the Product-Process Matrix: incorporating distributed manufacturing concepts.** Guilherme Brezinski, Alexandre Helmann, André Venâncio, Sérgio Gouvêa, Eduardo Loures and Fernando Deschamps. **P. 1250**

**Integrated production and maintenance planning: a systematic literature review.** Nicollas Luiz Schweitzer de Souza, Lucio Galvão Mendes, Eugênio Strassburger Rovaris, Enzo Morosini Frazzon and Lynceo Falavigna Braghirolli. **P. 1264**

**Development of a Methodology to Analyze Implementation Patterns of Industry 4.0 Technologies in the Santa Fe Region.** Oscar Quiroga, Samuel Osina and Mariana Díaz. **P. 1279**

**Evidências da Indústria 4.0 no setor eletroeletrônico basileiro: um estudo multicasos a partir da literatura.** Fernando Schenatto, Fabiano Carniel and Luís Alberti. **P. 1293**

**A Fast and Elitist Multi-objective Genetic Algorithm for Seru Production Assignment Problem Considering Worker Skills and Proficiency**. Sofía Magdalena Escobar Forero and Ciro Alberto Amaya Guio. **P. 1310**

**Proceso de toma de decisión multicriterio aplicado a máquinas de una línea de producción.** Félix Fernández, Eduardo Ortigoza, Victorio Oxilia, Lucas Cáceres, Rodrigo González and Roberto Fariña. **P. 1325**

**Estrategias de flexibilización de los sistemas de producción en la industria 4.0: un marco para la caracterización.** Diana C. Tascón and Gonzalo Mejía. **P. 1341**

**Factores que influyen en la adaptación de la Industria 4.0 a la gestión del mantenimiento en las empresas colombianas.** Leidy Marcela Duenas Ramirez, Gustavo Adolfo Villegas Lopez, Sebastian Castiblanco Tique, Carlos Andres Castaño Restrepo, Martin Andres Rosendahl Garcia, Alejandro Lopez Giraldo and Luisa Fernanda Ortiz Vasquez. **P. 1356**

## SPECIAL SESSION: **PROCESS INDUSTRY**

**Desarrollo de herramientas de soporte a la toma de decisiones en una planta de producción de jugos concentrados.** Anibal Blanco, Susana Moreno, Carolina Taraborelli, Flavio D'Angelo, Facundo Iturmendi and Alberto Bandoni. **P. 1369**

**Optimización de la Trazabilidad en la Cadena de Suministro de la Carne**. Bárbara Verónica Schmidt and Marta Susana Moreno **P. 1384**

**Ajuste de parámetros cinéticos de la reacción inversa del gas de agua (RWGS) en la producción de metanol.** Constanza Genovese, Ignacio Costilla, Carlos Eugenio Gigola and Nelida Beatriz Brignole. **P. 1399**

**Modelo integrado de planificación de decisiones del desarrollo de operaciones upstream.** Luciano Benvenutti, Daniel Oscar Borio and Jose Alberto Bandoni. **P. 1412**

**Propuesta de una biorrefinería en una industria azucarera cubana aprovechando la biomasa.**Ana Celia de Armas Martínez, Yailet Albernas Carvajal, Erenio González Suárez and Gabriela Corsano. **P. 1416**

**Modelado matemático de una planta piloto de producción de sidra para la toma de decisiones.** Facundo Iturmendi, Carolina Taraborelli, Juan Ignacio Laiglecia, Natalia Bongiovani and Flavio D'Angelo. **P. 1420**

**A Nonlinear Parameter Estimation for Biodiesel Production with Nannochloropsis oceanica CCALA 978.** Juan Ignacio Laiglecia, Natalia Bongiovani, Facundo Iturmendi, Cecilia Popovich and Patricia Leonardi. **P. 1432**

**Programación de Operaciones Eficiente de un Caso de Estudio Real de la Industria Farmacéutica mediante una Metodología de Descomposición Matemática-Algorítmica.** Josías Stürtz and Pablo Marchetti. **P. 1436**

**Análisis de incertidumbre en modelos de celdas de combustible de hidrógeno de tipo PEM.** Ignacio Pérez Correa, Pablo Giunta and Javier Francesconi. **P. 1440**

**Robust data reconciliation applied to uncertainty steady state model.** Claudia Llanos and Mabel Sánchez. **P. 1451**

**Biogas una alternativa Neuquén.** Ivone Elisabet Carroza, Gisela Magali Sanchez, Yesenia Martina Perez, Marcela Noemi Gatti, Alberto Camacho and Jose Luis Boiardi. **P. 1466**

SPECIAL SESSION: **FORESTRY**

**Tendencias climáticas de la Región Pampeana (Argentina) durante 1960-2019.** Federico Ferrelli, Andrea Soledad Brendel, María Cintia Piccolo and Gerardo Miguel Eduardo Perillo. **P. 1476**

**Variabilidad climática de la Región Pampeana (Argentina) en el contexto de cambio climático.** Andrea Soledad Brendel, Federico Ferrelli and Maria Cintia Piccolo. **P. 1480**

**Disminución de la Disponibilidad de Agua Potable por Expansión de la Forestación, en el Sector Costero Oriental de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.** Leonardo Sánchez Caro, Silvina Claudia Carretero, Fernanda Julia Gaspari and Alfonso Martín Rodríguez Vagaría. **P. 1484**

**Energy optimization for the operation of a sawmill.** Nicolas Vanzetti, Nestor Steitzer, Gabriela Corsano and Jorge Marcelo Montagna. **P. 1499**

**A column generation based algorithm for solving the log transportation problem.** Maximiliano R. Bordón, Jorge Marcelo Montagna and Gabriela Corsano. **P. 1514**

**Problema de Recogida y Entrega en la Industria Forestal: nuevos modelos y estudio de su performance.** Luciana Melchiori, Graciela Nasini, Marcelo Montagna and Gabriela Corsano. **P. 1529**

**Desarrollo de un sistema de programacion de ordenes de trabajo con restricciones de sincronizacion para una empresa de la agroindustria de flores.** Freddy López, Alfonso Sarmiento and William Guerrero. **P. 1544**

**Produccion de biogás y modelado del potencial metanogénico de residuos porcinos y co-sustratos.**Marcos Astorga, Margarita Cesano, Marcela Noemí Gatti and Alberto Camacho. **P. 1548**

**Evaluación del rendimiento económico y volumétrico de una planificación estratégica en un patrimonio forestal del Norte de la Provincia de Misiones.** Mathías Isaac López, Enzo Martín Sanzovo, Julio Eduardo Arce, Hugo Daniel Reis and Diego Ricardo Broz. **P. 1557**

**An integrated approach for solving the bucking and routing problems in the forest industry.** Maximiliano R. Bordón, Jorge Marcelo Montagna and Gabriela Corsano. **P. 1563**

**Uniformidad en la distribución de aplicación de diferentes diseños de pastillas de pulverización.** Victor H. Merani, Matilde Mur, Facundo Guilino, Larrieu Luciano, Juan Manuel Vazquez, Mariana Bethouart and Roberto Balbuena. **P. 1578**

**Evaluación del Endocarpio de Coco (cocos nucifera) como Sustrato en el Cultivo de Pleurotus Ostreatus en el Municipio de Villa del Rosario, Norte de Santander Colombia.** Lizeth Alfonsina Portilla Villarreal, Carlos Jahir Rodríguez Estupiñan, Juan Carlos Mora Santos and Lorena Alexandra Portilla Villarreal. **P. 1592**

**Pulverizaciones agrícolas: Comparación de metodologías para su evaluación.** Victor H. Merani, Matilde Mur, Facundo Guilino, Larrieu Luciano, Florencia Pi Puig, Juan Manuel Vazquez and Roberto Balbuena. **P. 1606**

**Systematic Literature Review of Water-Energy Nexus: An Overview of the field and analysis of the top 50 influential papers.** Gabriel Pereira, Arturo Gonzalez and Richard Germán González. **P. 1610**

**Efecto del coadyuvante sobre la prestación de diferentes boquillas en espigas de Trigo.** Matilde Mur, Victor Merani, Facundo Guilino, Larrieu Luciano, Juan Manuel Vazquez and Roberto Balbuena. **P. 1626**

SPECIAL SESSION: **HEALTH**

**Eficiencia espacial en la atención primaria de la salud en Bahía Blanca.** Maria Florencia Arnaudo, Fernando Pablo Lago, Alberto Bandoni and Guillermo Durand. **P. 1642**

**Comparación de Métodos Multicriterio Grupales: Procesos DRV vs AHP grupal. El caso de la gestión sobre residuos patógenos.** Nadia Ayelen Luczywo, José Luis Zanazzi and Catalina Lucía Alberto. **P. 1654**

**National Health Systems and doubling time of number of deaths by COVID-19 Coronavirus.** Diego Muñoz-Godoy, Samuel Ponce, Naudy Leal, Macarena Albornoz, Manuel Vargas and Guillermo Fuertes. **P. 1668**

**Modelación del proceso de programación de pacientes en listas de espera en un hospital público de Chile.** Jaime Bustos, José Luis Toro and Sonia Salvo. **P. 1677**

**Determinación de los porcentajes de aportación en el sistema de jubilación de una institución de educación superior mediante un modelo de optimización.** Marco Antonio Montufar Benitez, Eva Selene Hernandez Gress, José Luis Mota Reyes, Hector Rivera Gomez and Octavio Castilo Acosta. **P. 1681**

SPECIAL SESSION: **FOOD**

**Biofilm Formation on Ultrafiltration Membranes by Yeast Strains Isolated from Apple Juice Processing Industries.** María del Rosario Agustín, María Clara Tarifa and Lorena I. Brugnoni. **P. 1692**

**Modelado Cinético de la Degradación Térmica de Biocompuestos y de Color en Tomate Triturado.** Emiliano E. Badin, Pablo D. Ribotta and Alejandro R. Lespinard. **P. 1696**

**Evaluación reológica y térmica de oleogeles formulados con ceras de girasol y aceite de girasol alto oleico.** Cintia Redondas, Amalia Carelli and Erica Baümler. **P. 1709**

**Efecto de la Sustitución Parcial de NaCl con KCl Sobre las Propiedades Sensoriales de Queso Port Salut.** Tomás Ramón Gill, Hernán Ramón Allasia, Guillermo Ernesto Hough, Mario Nicolas Lanteri and Alejandro Rafael Lespinard. **P. 1724**

**Bioactividad de extractos de bagazo de cerveza.** Diana Potes Vecini, Juliana Piña, Mónica Nazareno and Consuelo Pacheco. **P. 1728**

**Efecto de la temperatura de secado en la microencapsulación de antioxidantes naturales.** Macarena Ortiz, Juliana Piña, Mónica Nazareno and Consuelo Pacheco. **P. 1733**

**Estudio cinético de parámetros de calidad nutricional y sensorial en leche tratada térmicamente.** María del Milagro Mercatante, Emiliano Emanuel Badin, Javier Ramiro Arballo and Alejandro Rafael Lespinard. **P. 1742**

**Nanostructured lipid carrier developed with propolis wax residues.** Gabriela Krepper, Centurión María Eugenia and Erica Baümler. **P. 1753**

**Relationship between microstructure, rheological behavior and kinetic stability of oleogel emulsions produced with recovered and commercial sunflower waxes.** Julie Merchan Sandoval, Amalia Carelli, Erica Baümler and Camila Palla. **P. 1759**

**Simulación matemática de un Desolventizador-Tostador industrial.** Mauricio M. Coletto, J. Alberto Bandoni and Anibal M. Blanco. **P. 1769**

**Comparison between Clarke & Wright and Nearest Neighbor methods on thermal performance of Cold Chain products during generation of distribution route.** Luíza Bezerra, Vanina Silva and Diogo Silva. **P. 1784**

**Evaluación tecnológica en bodega de una levadura vínica patagónica previamente propagada**

**en un sustrato no convencional.** Sebastian Bravo, Diana Constenla and Adriana Caballero. **P. 1799**

**Extracción de compuestos bioactivos de frutillas cv. Albion tratadas con ozono en fase acuosa y almacenadas en refrigeración, y evaluación de sus propiedades antioxidantes.** Eunice V. Contigiani, Gabriela M. Jaramillo Sánchez, Ángela R. Romero Bernal, Paula L. Gómez and Stella M. Alzamora. **P. 1805**

**Desarrollo de yogur descremado deslactosado reducido en sacarosa mediante hidrólisis enzimática.** Marianina Perez Cenci, Rocío Celeste Dominguez, Agustina Rocío Fernandez and Guadalupe Fuertes. **P. 1818**

**Ultrastructural Damage and Mycotoxin Accumulation of Aspergillus flavus, A. parasiticus and Fusarium verticillioides as Affected by Flavonoids: a Comparative Study.** Paula Sol Pok, Silvia Liliana Resnik and Stella Maris Alzamora. **P. 1832**

**Efecto del salado sobre las propiedades reológicas y la estructura de filetes de merluza (Merluccius hubbsi) utilizando diferentes métodos.** Marion Daniela Marchetti, Analía Belen Garcia Loredo and María Isabel Yeannes. **P. 1846**

**Evaluación de la Viabilidad de Cepas Probióticas de Lactobacillus Encapsuladas en Micropartículas de Pectina para uso en Matrices Vegetales.** María Clara Tarifa, Cristian Piqueras, Diego Genovese and Lorena Brugnoni. **P. 1860**

**Modelling Planetary Ball Milling of Rice Starch.**Luciana González, Maria Loubes and Marcela Tolaba. **P. 1865**

**Influence of olive mill waste polyphenols levels on carotenoid production by Rhodotorula mucilaginosa.** Carolina Ghilardi, Amalia Antonia Carelli and Maria Virginia Borroni. **P. 1876**

**Gelificación del caseinomacropéptido en presencia de sales de calcio (cloruro de calcio y acetato de calcio).** Karina Loria, Ana M.R. Pilosof and María Edith Farías. **P. 1882**

**Evaluación composicional de bagazo de diferentes estilos de cerveza artesanal para su valorización.** Luciana M. Rodriguez, Diana T. Constenla and Ethel E. Pérez. **P. 1897**

**Inactivación de Fusarium graminearum en cebada cervecera (Hordeum vulgare L.) mediante ozono en fase acuosa: potencial aplicación en la etapa de malteado.** Bibiana Zuluaga Calderón, Stella Maris Alzamora, Héctor Horacio Lucas González and María Bernarda Coronel. **P. 1911**

**Valorización de residuos provenientes del salado-madurado de anchoíta (Engraulis anchoita).** Marion Daniela Marchetti, Rolando Jimenez Lugo and Marina Czerner. **P. 1922**

**Arsénico en agua y alimentos: determinación del perfil de riesgo en Argentina.** Silvina Perez, Marion D Marchetti and Alejandra Tomac. **P. 1926**

**Microbioma de Engraulis anchoita salada-madurada.** Silvina Perez, Maria I Yeannes and Silvia E Murialdo. **P.1931**

**Efecto del ozono en fase acuosa sobre las ceras epicuticulares y el color de arándanos (Vaccinium corymbosum L.,cultivar O'Neal).** Gabriela M. Jaramillo Sánchez, Eunice V. Contigiani, Stella M. Alzamora and Patricio R. Santagapita. **P. 1935**

**Influencia de cultivos autóctonos iniciadores de la fermentación alcohólica sobre atributos sensoriales de vinos Patagónicos.** Sebastian Bravo, Silvana del Mónaco, Adriana Caballero, Yolanda Curilen and Manuel Morales. **P. 1950**

**Evaluación de emulsiones filmogénicas a base de aislado de soja y cera de abeja.** Florencia Salaberría, Agustin Benestante, Ethel Pérez and Erica Baümler. **P. 1965**

**Caracterización de propóleos como fuente lipídica con compuestos activos.** Florencia Salaberría, María Soledad García Paoloni, Marcelo Pistonesi, Erica Baümler and Ethel Pérez. **P. 1976**

**Afinidad del caseinomacropéptido con el CaCl2 a pH neutro.** Karina Loria, Ana M.R. Pilosof and María Edith Farías. **P. 1980**

## SPECIAL SESSION: **MANAGEMENT**

**Project Management Process Resilience: Assessing and Improving the Project Review Process Using FRAM.** Vinicius Bigogno Costa, Moacyr M. Cardoso Jr. and Ligia Maria Soto Urbina. **P. 1992**

**Medios de pago electrónicos y evasión tributaria: el caso argentino.** Florencia Verónica Pedroni, Gabriela Pesce and Anahí Briozzo. **P. 2007**

**Building High Performance Teams.** Thais C. Pfutzenreuter, Edson Pinheiro de Lima and José R. Frega. **P. 2022**

**Human Resources 4.0: Use of Sociometric Badges to Measure Communication Patterns.** Regina Moirano, Marisa A. Sanchez, Libor Štěpánek and Gastón Vilches. **P. 2037**

**An Optimization Model for University Course Timetabling. A Colombian Case Study.** Jaén Suárez-Rodríguez, Juan C. Piña, Laura Malagón-Alvarado, Valentina Blanco, Melissa Correa, Laura De La Rosa, Mariana Lopera, Juan Valderrama and Carlos Vega-Mejía. **P. 2052**

**Identificação de fatores para avaliação da qualidade de energia elétrica: os impactos na geração, distribuição e setores de consumo.** Virginia Thomasi, Heloísa Pereira Burin, Julio Cezar Mairesse Siluk and Carmen Brum Rosa. **P. 2067**

**Diseño de una red de domicilios en tiendas de barrio para abastecimiento de alimentos en tiempos de COVID-19: Un enfoque de optimización lineal.** Daniela Granados, Gonzalo Mejía, Laura Tinjaca and Natalia Cárdenas. **P. 2080**

**Study of the location of a second fleet for the Brazilian Navy: Structuring and mathematical modeling using SAPEVO-M and VIKOR methods.** Isaque Dp Almeida, José Vp Corriça, Arthur Pa Costa, Igor Pa Costa, Sérgio Mn Maêda, Carlos Fs Gomes and Marcos Santos. **P. 2095**

**Localización de proveedores de salud en zonas rurales en países en desarrollo: Un enfoque de programación lineal entera mixta.** Daniela Granados, Gonzalo Mejía, Gabriela Rico, Daniela Cuéllar, Nicolás Montes and Tania González. **P. 2108**

**Multicriteria analysis by the PROMETHEE-SAPEVO-M1 method: a decision analysis for the closure of a bank agency.** Miguel Moreira, Marcos Santos and Carlos Gomes. **P. 2123**

**Development of a methodological proposal for the creation of strategic maps incorporating feasible futures.** Miguel González, Quezada Luis, Pedro Palominos, Astrid Oddershede and John Rios. **P. 2137**

**Toma de decisiones multicriterio para identificar los procesos de mayor impacto en la continuidad operacional en una empresa sanitaria en contexto de pandemia.** Claudio Macuada, Astrid Oddershede, Luis Quezada, Pedro Palominos and Cecilia Montt. **P. 2141**

**Inventory management of aftermarket: case study.** Victor Sánchez Guzmán and Lourdes Loza-Hernández. **P. 2146**

**Modelo de simulación de la gestión de un Job Shop. Una herramienta de soporte a la toma de decisiones.** Jaime Giraldo, Omar Castrillon and Jaime Arango. **P. 2159**

**A strategic reference model for the competitiveness of the port supply chain.** Luis M. Ascencio, Rosa G. Gonzalez Ramirez and Stefan Voss. **P. 2174**

**Adaptation of the Balanced Scorecard to Latin American Higher Education Institutions in the Context of Strategic Management: A Systematic Review with Meta-analysis.** Mauricio Hinojosa. **P. 2176**

**Visão Baseada em Recursos: O uso da tecnologia Blockchain na Gestão do Conhecimento.** Talita Frozza and Andressa Maria Corrêa. **P. 2191**

**Key Factors for the Implementation of New Technologies in Manufacturing Systems – Insights from Case Studies.** Paulo Henrique Brunheroto, Cassiano Souza Beller, Fernando Deschamps and Edson Pinheiro de Lima. **P. 2206**

**How do Industry 4.0 technologies impact performance objectives? Results of an empirical survey in large enterprises and SMEs of the Curitiba Metropolitan Region.** Paulo Henrique Brunheroto and Fernando Deschamps. **P. 2221**

**Transformação digital na prestação de serviços: mapeamento de tecnologias.** Talita Frozza, Fernando José Avancini Schenatto and Edson Pinheiro de Lima. **P. 2236**

**Explorando lacunas em modelos de maturidade existentes para avaliação da cadeia de suprimentos inteligente – uma revisão literária.** Adalberto dos Santos, Eduardo Alves Portela Santos and Silvana Pereira Detro. **P. 2249**

**Service network design problem in freight transportation. A literature review.** Jessica Jazmin Vazquez-Azotea, Javier Garcia-Gutierrez, Lourdes Loza-Hernandez and Ma. De Lourdes Najera-Lopez. **P. 2264**

SPECIAL SESSION: **MACHINE LEARNING AND BIG DATA IN INDUSTRIAL PROCESSES**

**Exploring Machine Learning Integration with Operations Strategy.** Thais C. Pfutzenreuter, Nathália R. G. Chamie, Edson Pinheiro de Lima and Sergio E. Gouvea da Costa. **P. 2273**

**A Database Curation for Prediction of the Refractive Index in the Virtual Testing of Polymeric Materials by using Machine Learning.** Santiago Ariel Schustik, Fiorella Cravero, Ignacio Ponzoni and Mónica Fátima Diaz. **P. 2285**

**Big data analytics process architecture for manufacturing industries: a literature review.** Letícia Alves dos Santos Rosolem, Fernando Deschamps, Edson Pinheiro de Lima and José Marcelo Almeida Prado Cestari. **P. 2300**

SPECIAL SESSION: **PRODUCTIVITY**

**Melhores práticas em eficiência energética em edifícios comerciais: uma discussão sobre modelos existentes.** Barbara Bonfim Catapan, Sergio E. Gouvea da Costa and Edson Pinheiro de Lima. **P. 2315**

**Análisis de eficiencia de los bancos nacionales de los países del Mercosur en entornos difusos.** Claudia Peretto and Cecilia Solange Cáceres. **P. 2320**

**Evaluación de la Eficiencia Técnica de los Centros de Atención Primaria Salud en la Ciudad de Bahía Blanca.** Facundo Durán, María Eugenia Elorza, Fernanda Villarreal, María Florencia Arnaudo and Pablo Luis Acrogliano. **P. 2324**

SPECIAL SESSION: **MECHATRONICS**

**A Proposal for an Interoperable Data Collection System for Production Control on CNC Machining Lines of a Healthcare Product.** Victória R. S. Camargo, Thomas V. B. Amaral, Sofia T. Helena, Matheus Beltrame Canciglieri, Athon Francisco Curi Staben de Moura Leite and Anderson Luis Szejka. **P. 2339**

SPECIAL SESSION: **MECHANICAL**

**Máquina Paletizadora: Processo de Desenvolvimento do projeto.**Grabriel Krause, Diogo Belle and Fernando José Avancini Schenatto. **P. 2353**

SPECIAL SESSION: **EDUCATION**

**Teaching Artificial Intelligence using Project Based Learning.** Marc Dahmen, Luis Quezada,

Miguel Alfaro, Guillermo Fuertes, Claudio Aballay and Manuel Vargas. **P. 2369**

**Modelización matemática para la toma de decisiones en proyectos interdisciplinarios.** Pablo Carranza. **P. 2387**

**Restructuración del dictado de materias de Matemática en las carreras de Ingeniería en Alimentos e Ingeniería en Biotecnología.** Griselda R. Itovich and Juan I. Laiglecia. **P. 2391**

**Autoevaluación y Coevaluación para la mejora continua del trabajo en grupo: Aplicación y experiencia en clases virtuales.** Antonella Cavallin and Elda Monetti. **P. 2398**

**Modelo matemático para evaluación adaptativa.** Sebastián Dávila, Óscar Vásquez and Luis Osorio. **P. 2417**

SPECIAL SESSION: **METAHEURISTICS**

**Optimización por Colonia de Hormigas para el Ruteo del Picking en Almacenes de Múltiples Bloques.** Jose Alejandro Cano, Emiro Antonio Campo, Alexander Alberto Correa-Espinal and Rodrigo Andrés Gómez-Montoya . **P. 2423**

**A decision support tool for the location routing problem during the COVID-19 outbreak in Colombia.** Andres Felipe Martinez Reyes, Carlos Quintero Araujo and Elyn Lizeth Solano Charris. **P. 2428**

**Simulated Annealing metaheuristic approach for generating alternative corridor locations.** Pedro Moreno and Sergio Nesmachnow. **P. 2443**

**Algoritmo evolutivo híbrido basado en la división del espacio de los objetivos para el problema de la mochila bi-objetivo.** Daniel Alejandro Rossit, Máximo Méndez, Mariano Frutos and Begoña González. **P. 2458**

**Redes neuronales LSTM aplicadas a la predicción de oleaje en tiempo real para generación de energía undimotriz en las Islas Canarias.** Carlos Hernández, Máximo Méndez, Ricardo Aguasca-Colomo and Begoña González. **P. 2472**

**Algoritmos genéticos para la toma de decisiones en la cadena de valor apícola.** Luciana Belén Villar, Martín Carlos De Meio Reggiani, Hernán Pedro Vigier and Nélida Beatriz Brignole. **P. 2486**

**Dynamic Order Acceptance and Scheduling Approach for On-demand Production with Additive Manufacturing by Considering Idle Costs.** Qiang Li, David Zhang and Ibrahim Kucukkoc. **P. 2501**

**A Decomposition Approach for the Combined Inventory Routing and Scheduling Problem.** Carlos Franco and Eduyn López-Santana. **P. 2515**

**Resolución de los problemas Order Batching / Picking a través de un Algoritmo Evolutivo.** Fabio Maximiliano Miguel, Mariano Frutos, Máximo Méndez and Fernando Tohmé. **P. 2519**

**Una Metaheurística de Recocido Simulado para Resolver un Problema de Ruteo de Vehículos en la Recolección de Residuos.** Matías Fermani, Diego Gabriel Rossit and Adrián Toncovich. **P. 2531**

**A simulation-based optimization framework for a comparative analysis of different heuristics applied to discrete-event simulation.** Juan Pablo Morandé, Rosa González-Ramirez and Sergio Quijada. **P. 2545**

**Simulated Annealing Algorithm for In-Plant Milk-Run System.** Islam Altin and Aydin Sipahioglu. **P. 2561**

**Aplicación de optimización y metaheurísticas al problema de ruteo de vehículos periódico integrando programación y frecuencia de servicio.** Sergio Esteban Vega Figueroa, Paula Andrea López Becerra and Eduyn López Santana. **P. 2577**

**Un algoritmo de Búsqueda Tabú para el problema de Ruteo de Vehículo Milk Run con ventanas de tiempo (VRPMRTW).** Carlos Eduardo

Díaz Bohórquez, Lina Mayerly Lozano Suarez and Laura Ximena Sanchez Rincón. **P. 2581**

**Periodic vehicle routing with consistency and synchronization constraints for nanostore fulfilment in emerging markets.** Andres Gomez, Juan Carlos Rivera and Juan Guillermo Villegas. **P. 2597**

SPECIAL SESSION: **SCHEDULING**

**Nueva representación para la resolución simultánea del batching y scheduling en una planta batch multiproducto.** Sergio Ackermann, Yanina Fumero and Jorge Marcelo Montagna. **P. 2602**

**Flow-shop con consideraciones energéticas y aplicación de lot-streaming.** Florencia D'Amico, Daniel Alejandro Rossit and Mariano Frutos. **P. 2616**

**Formulação indexada no tempo e algoritmo heurístico para um problema integrado de localização e sequenciamento.** Raphael Kramer and Arthur Kramer. **P. 2630**

**Impacto de la productividad y la polifuncionalidad laboral en la gestión de personal: caso aplicado a la industria retail.** Silvana Vergara, Jairo Del Villar, James Masson, Natalia Pérez, Cesar Augusto Henao and Virginia González. **P. 2644**

**Two-stage stochastic optimization model for personnel days-off scheduling using closed-chained multiskilling structures.** Orianna Fontalvo Echavez, Laura Fuentes Quintero, César Augusto Henao and Virginia I. González. **P. 2659**

**Beneficios de la polifuncionalidad laboral en la industria retail: Enfoque "k-chaining" con incertidumbre en la demanda.** Yessica Mercado Morales and César Augusto Henao. **P. 2672**

**Aplicações da Simulação de Monte Carlo em problemas de Programação Linear: uma revisão sistemática da literatura.** Jaqueline Marchiore Petri, José Donizetti de Lima and Fernando José Avancini Schenatto. **P. 2687**

**2D Nesting and Scheduling in Metal Additive Manufacturing.** Ibrahim Kucukkoc, Zixiang Li and Qiang Li. **P. 2702**

**A Genetic Algorithm for Flexible Job Shop Scheduling Problem with Scarce Cross Trained Setup Operators.** Dolapo Obimuyiwa and Fantahun Defersha. **P. 2717**

**Using the k-chaining approach to solve a stochastic days-off-scheduling problem in a retail store.** María Abello, Nicole Ospina, Julia De la Ossa, César Henao and Virginia González. **P. 2732**

**Heuristic methods for the m-machine blocking flow shop with setup times to minimize hierarchical objective-function.** Hugo H. Miyata and Marcelo S. Nagan. **P. 2747**

**Heuristics for earliness and tardiness scheduling of identical parallel machines subject to common restrictive due windows.** Gustavo A. Rolim and Marcelo S. Nagano. **P. 2762**

**The Online Lot Streaming Problem: A Characterization and Solution Approach for Flexible Job Shop Environments.** Juan M. Novas. **P. 2777**

**Uso de la Programación por Metas y del Proceso Analítico de Jerarquías para la obtención de la mezcla de productos.** Claudia Zárate, María Betina Berardi and Alejandra María Esteban. **P. 2781**

**Customer order scheduling problem to minimize total tardiness with sequence-dependent setup times.** Massimo Pinto Antonioli, Carlos Diego Rodrigues and Bruno de Athayde Prata. **P. 2796**

**A Research Direction in Manufacturing Systems Scheduling: A proposal.** Fantahun Defersh. **P. 2809**

**Modeling and Solving the Total Flow Time Fixed Group Shop Scheduling Problem.** Francisco Yuraszeck, Gonzalo Mejía and Jordi Pereira. **P. 2819**

SPECIAL SESSION: **SUSTAINABLE**

**Production Planning with Remanufacturing and Environmental Costs.** Luciana Vidal, Pedro Piñeyro, Omar Viera, Paula Martínez and Diego Molina. **P. 2824**

**Simultaneous lot-sizing and scheduling with recovery options: problem formulation and analysis of the single-product case.** Pedro Piñeyro and Daniel Rossit. **P. 2837**

**Planificación de minutas alimentarias para el casino central de una Universidad Pública de Chile: Un enfoque para la reducción de la huella de carbono.** Javiera García-Leal, Andrea Teresa Espinoza Pérez and Oscar C. Vásquez. **P. 2849**

**Technologies investments in the era of digital transformation and sustainable development.** Diego Audrey de Lima Lamezon, Edson Pinheiro de Lima and Sergio Eduardo Gouvea da Costa. **P. 2854**

**A mathematical model for the cost optimization of bioethanol production integrated into pulp and paper supply chain– The impact of scale and capacity strategies.** Frank Piedra-Jimenez, Natalia G. Tassin, Juan M. Novas and María Analía Rodríguez. **P. 2870**

**Relación entre las prácticas de calidad y el desempeño sostenible de cadenas de suministro.** Juan M. Cogollo-Flórez, Alexander Correa-Espinal, Cristian Marquez-Rodríguez and Rosa Cacho-Figueroa. **P. 2874**

**Pesquisa de alternativa de energía eléctrica para la localidad de Fuerte Olimpo Chaco Paraguayo.** Richard Germán González, Marcelo Marecos, Pedro Torres, Arturo Gonzalez, Gabriel Pereira and Victorio Oxilia. **P. 2882**

**A Benders Decomposition Approach for an Integrated Bin Allocation and Vehicle Routing Problem in Municipal Waste Management.** Arthur Mahéo, Diego Gabriel Rossit and Philip Kilby. **P. 2890**

**Proposal of a Heuristic for Cluster Analysis with Application in Allocation of Anaerobic Co-Digesters for Biogas Production.** Monique Simão, José Eduardo Pécora and Gustavo Loch. **P. 2905**

**Optimal reverse supply chain design: the case of empty agrochemical containers.** Glenda Yossen and Gabriela Henning. **P. 2916**

**SIMPOSIO INDUSTRIAL**

**Prefacio**. Simposio Industrial ICPR-Americas 2020. **P. 2932**

**Índice de Satisfacción de Proveedores.** Fernando Bono y Matías Sofía. **P. 2933**

**Auditoría integral para una administración eficiente.** Nicolás Bertoni. **P. 2942**

**Mejora en la competitividad empresarial: acciones implementadas.** Marcela Contreras, Luis Contreras, Emily Martinez. **P. 2946**

**Confeccionando Futuro: curso técnico con función social.** Gustavo Lari, Luis Contreras, Nerina Muñoz. **P. 2950**

**Modificación en el sistema de retornabilidad de envases de Coca-Cola.** Rodrigo Introcaso. **P. 2956**

**Estudio del aumento de la capacidad de molienda ensistemas de producción de alimentos balanceados.** Jacquelina Claudia Lobos de Ponga, Agustina Di Battista, Sofia Bonifacino, Melisa Sequeira, Ivana Cotabarren, Juliana Piña. **P. 2960**

**Programa motivacional en una pyme bahiense.** Ariel Muzi. **P. 2964**

**Sistema logístico integrado para la gestión operativa de carga y despacho de camiones.** Augusto Ferraro, Joaquín Alencastre Cordi. **P. 2969**

**Innovación en la industria petroquímica.** Cristian Zurlo, Mateo Pilia, Xoana Alimenti. **P. 2973**

**Indice de Calidad de Vida Laboral.** Horacio Cardozo, Jesica Pereyra Rodríguez. **P. 2981**

**Adaptaciones a las nuevas demandas y tendencias.** Gustavo Lari. **P. 2987**

**Herramienta de Gestión – Pool de Contenedores Vacíos para ordenes MPC.** Alencastre Cordi Joaquín, Ferraro Augusto. **P. 2992**

**Desarrollo de un Caso de Uso de Industria 4.0 en una Planta de Producción de Aguas y Gaseosa.** Agustín Carbone, Marisa Sánchez. **P. 2996**

**La pandemia como oportunidad para reinventarse.** Ariel Rodríguez, Yamila Pérez. **P. 3006**

**Simulación de un proceso Inbound Freight de Estados Unidos de América hacia las ciudades de Saltillo y Toluca como herramienta para la evaluación y mejora de los procesos en Facil N. A. de México.** Luis Armando Peña González, Juan Carlos Alonso Torres, Javier García Gutiérrez and Jenaro Nosedal Sánchez. **P. 3010**

**La Manufactura Aditiva como herramienta clave en la modernización de los procesos de fundición.** Pizzolito, Danilo. **P. 3024**

**Optimización de tiempos en Ordenes de Transporte en empresa de servicios petroleros.** Chaulet, Marcelo. **P. 3032**

## SEMINARIO DE ENSAYO ESTUDIANTILES

**Prefacio.** Seminario de Ensayos Estudiantiles ICPR-Americas 2020. **P. 3042**

**Economía Circular: El flujo de información en la Cadena de Suministro.** María Luján Neri. **P. 3041**

**Actitud renovable.** Tomás Pereyra. **P. 3048**

**Construcción sustentable y smart city.** Carolina Ailen Sepulveda. **P. 3053**

# Una Metaheurística de Recocido Simulado para Resolver un Problema de Ruteo de Vehículos en la Recolección de Residuos

Matías Fermani[1], Diego Gabriel Rossit[1,2] and Adrián Toncovich[1]

[1] Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Argentina
[2] INMABB, Universidad Nacional del Sur (UNS)-CONICET, Argentina
mati.ferma@gmail.com, diego.rossit@uns.edu.ar,
atoncovi@uns.edu.ar

**Resumen.** La gestión de la recolección de Residuos Sólidos Urbanos es una tarea compleja que deben enfrentar los gobiernos locales, consumiendo gran parte de su presupuesto. La utilización de herramientas computacionales que sirvan de apoyo a la toma de decisiones puede contribuir a mejorar la eficiencia del sistema y disminuir los costos asociados. En el presente trabajo se propone un algoritmo de recocido simulado para abordar el problema del diseño de las rutas de vehículos de recolección de residuos. El algoritmo propuesto es comparado contra otros dos algoritmos metaheurísticos: un algoritmo *Large Neighborhood Search* (LNS) de la literatura y un algoritmo genético estándar. La evaluación se realiza sobre instancias reales de la ciudad de Bahía Blanca y sobre *benchmarks* de la literatura. El algoritmo propuesto fue capaz de resolver todas las instancias planteadas teniendo un desempeño similar al LNS, mientras que el algoritmo genético estándar evidenció peores resultados.

**Keywords:** Residuos Sólidos Urbanos, Ruteo de Vehículos, Recocido Simulado.

## 1 Introducción

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) es una consecuencia inalienable del desarrollo de las ciudades modernas. Asimismo, su correcta gestión es uno de los elementos claves para el desarrollo sustentable de una ciudad [1]. Las etapas en la cadena logística inversa de los RSU son diversas. Según [2] pueden clasificarse en generación de residuos; manejo, separación, acumulación y procesamiento de residuos en origen; prosiguiendo la recolección; transferencia y transporte; separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos; y disposición final. En dichas etapas existe una gran cantidad de decisiones que deben tomarse. Por este motivo, proponer herramientas informáticas que permitan asistir a los agentes tomadores de decisiones puede colaborar en un uso más eficiente de los recursos.

El presente trabajo se enfoca en la etapa de recolección; transferencia y transporte de residuos. Particularmente, se propone un algoritmo metaheurístico basado en recocido simulado para resolver este problema. El algoritmo propuesto es comparado contra otros algoritmos metaheurísticos de la literatura a los efectos de explorar su

performance. La experimentación es realizada en instancias reales de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina, así como en conocidos *benchmarks* de la literatura.

El presente artículo se encuentra estructurado de la siguiente forma. En la Sección 2 se presenta el problema abordado y una revisión bibliográfica de los principales trabajos relacionados, en la Sección 3 se proponen los algoritmos de resolución utilizados, en la Sección 4 se desarrolla la experimentación computacional y, finalmente, en la Sección 5 se presentan las principales conclusiones de este trabajo.

# 2 Problema abordado

La gestión de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Bahía Blanca es una actividad crucial para las autoridades locales, no sólo por el amplio impacto ambiental y social asociado a su operatoria sino también porque consume una gran parte de los recursos presupuestarios del municipio [33]. Por lo tanto, enfoques que permitan optimizar la logística de recolección pueden ser relevantes para lograr una prestación más eficiente del servicio [17]. En este marco es que se han realizado propuestas para migrar desde el actual sistema de recolección puerta a puerta a un sistema contenedorizado [17,33]. Continuando con estos estudios, en la siguiente sección se presenta un modelo matemático para planificar la siguiente etapa en la cadena logística inversa de los residuos sólidos urbanos: el diseño de las rutas de recolección de los residuos acumulados en los contenedores. Asimismo, se realiza una revisión de los principales trabajos relacionados de la literatura.

## 2.1 Modelo matemático

El problema de recolectar lo acumulado en los contenedores de residuos se puede asemejar a un problema de enrutamiento de vehículos con restricción de capacidad (CVRP, por sus siglas en inglés, *Capacitated Vehicle Routing Problem*). El mismo puede modelarse matemáticamente de la siguiente forma. Dado un conjunto de contenedores $C$ y un superconjunto $\underline{C} = C \cup c_0$, donde $c_0$ es el depósito donde inician y finalizan su recorrido los vehículos, se definen las siguientes variables y parámetros. La variable binaria $x_{ij}$ que adopta el valor 1 si un vehículo utiliza el camino desde el contenedor $i \in C$ al contenedor $j \in C$, 0 en caso contrario y la variable continua positiva $u_i$ que indica la carga del vehículo antes de llegar al contenedor $i \in C$. Luego se definen los parámetros $Q$ como la capacidad del vehículo, $d_{ij}$ como la distancia entre los contenedores $i \in I$ y el contenedor $j \in I$ y $q_i$ como la cantidad de residuo a recolectar en el contenedor $i \in I$. De esta forma, se plantea el siguiente modelo, utilizando la formulación de dos-índices propuesta por [3] en las Ecuaciones (1)-(6).

$$\text{Minimizar } FO = \sum_{i,j \in \underline{C}} x_{ij} d_{ij} \tag{1}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in \underline{C}} x_{ij} = 1, \ \forall \ i \in C \tag{2}$$

$$\sum_{j \in \underline{C}} x_{ji} = 1, \ \forall \ i \in C, \tag{3}$$

$$u_j - u_i \leq Q\left(1 - x_{ij}\right) - q_j, \ \forall \ i,j \in \underline{C} \tag{4}$$

$$q_i \leq u_i \leq Q, \ \forall \ i \in C \tag{5}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \ \forall \ i,j \in \underline{C} \tag{6}$$

El objetivo planteado consiste en minimizar la distancia total recorrida expresada en la Ecuación (1). Las Ecuaciones (2) y (3) garantizan que cada contenedor sea visitado una única vez, teniendo un único contenedor sucesor y un único contenedor predecesor en la ruta. La Ecuación (4) impide la formación de *subtours*. La Ecuación (5) garantiza que la capacidad del vehículo no sea sobrepasada. La Ecuación (6) establece la naturaleza binaria de la variable $x_{ij}$.

## 2.2 Revisión bibliográfica

El problema de recolección de residuos contenedorizados en una ciudad ha sido abordado frecuentemente en la literatura En [4] y [5] se desarrollan extensas revisiones sobre estos trabajos.

En el caso de Argentina pueden encontrarse algunos trabajos sobre aplicaciones de modelos VRP para resolver el problema de diseño de rutas de recolección. Por ejemplo, en [6] y [7] se implementan modelos de programación matemática para planificar las rutas de recolección de contenedores de residuos en la zona sur de la Ciudad de Buenos Aires. Por otro lado, en [8] se trabaja optimizando las rutas en esta zona teniendo como objetivos minimizar las distancias de recorrido simultáneamente con la minimización del desgaste de los vehículos. En la ciudad de Concordia, [9] presenta una aplicación para diseñar las rutas de recolección de la ciudad haciendo un esfuerzo por minimizar la cantidad de giros para facilitar la implementación de las rutas por las autoridades. Por otra parte, [10] exhibe un algoritmo para resolver la zonificación de la ciudad de San Miguel de Tucumán a los efectos de optimizar el uso de recursos, reasignando camiones hacia la zona céntrica de la ciudad. En [11] y [12] mediante modelos de programación entera se planifica la recolección de residuos reciclables en la ciudad de Morón. En [13] se presenta un enfoque integral que determina la localización de los contenedores, así como el diseño de la ruta que efectúa la recolección de su contenido en instancias simuladas de Bahía Blanca. En la misma ciudad, [14] y [15] exponen modelos de ruteo de vehículos con balanceo de distancias entre las distintas rutas para diseñar los recorridos de los recolectores informales de residuos reciclables.

## 3 Método de resolución propuesto

Como se mencionó anteriormente, la recolección de RSU en contenedores constituye un caso de aplicación del problema VRP (*Vehicle Routing Problem*). En teoría de complejidad computacional, este tipo de problemas están clasificados como NP-hard [16], es decir, es a lo sumo tan difícil como los problemas para los cuales no se han desarrollado aún algoritmos de resolución eficientes que se ejecutan en tiempo polinomial con respecto al tamaño del problema [17]. En este tipo de problemas las herramientas metaheurísticas permiten obtener buenas soluciones en tiempos de cómputo razonables. El algoritmo de resolución que se propone se basa en una estrategia de recocido simulado (SA, *Simulated Annealing* en inglés) y fue adaptada de los trabajos [18] y [19]. SA es un método basado en la búsqueda local que se desarrolló a partir de una analogía con el fenómeno físico de recocido [20] para resolver problemas complejos de optimización. Los métodos de búsqueda local buscan la solución con un mejor valor del criterio elegido en el entorno de la solución actual, la aceptan como la solución actual y repiten este procedimiento hasta que no resulte posible mejorar la solución en el entorno explorado. Mediante la aplicación sistemática de este procedimiento se obtiene, en general, un óptimo local para el problema. Para evitar quedar atrapado en un óptimo local, se debe incorporar un mecanismo de diversificación con el fin de explorar adecuadamente el espacio de soluciones. En la metaheurística de recocido simulado, la estrategia de diversificación permite movimientos, con cierta probabilidad, hacia soluciones que empeoran el valor actual de la función objetivo.

Para obtener una buena aproximación a la solución óptima del problema durante el proceso de búsqueda, resulta necesario reiniciar la búsqueda regularmente desde una de las soluciones aceptadas durante el proceso de búsqueda seleccionada al azar. El algoritmo SA incorpora los parámetros clásicos del recocido simulado. Seguidamente se indican los parámetros y variables correspondientes al algoritmo SA implementado.

- $t$ : iteración actual.
- $S_0$ : solución inicial.
- $S_A$ : solución actual.
- $S_c$ : solución candidata.
- $V(S)$ : entorno de la solución $S$, dado por el conjunto de soluciones que pueden obtenerse a partir de $S$ mediante un movimiento o perturbación elemental.
- $T$ : parámetro de control (que simula la temperatura en el proceso físico del recocido). Es un valor positivo que varía desde un valor inicial mayor, $T_0$, a otro que es menor, $T_f$, durante la ejecución del algoritmo.
- $N_T$ : número de iteraciones realizadas por el algoritmo para cierto valor de $T$.
- $\alpha(T)$ : función que determina el mecanismo de enfriamiento, es decir, la evolución de $T$ durante la ejecución del algoritmo. En general, $\alpha(T) = \alpha T$, en la práctica $\alpha \in [0,8; 0,99]$.
- $N_{cont}$ : número de iteraciones sin mejora en la iteración $t$.

- $N_{stop}$ : número máximo de iteraciones permitidas sin mejora.

Se aplica el siguiente pseudo-código para determinar una solución potencialmente óptima.

Algoritmo de Recocido Simulado

**i. Inicialización**

Se utiliza un procedimiento constructivo aleatorizado para generar una solución inicial, $S_0$.

Se evalúa la función objetivo, $FO(S_0)$, empleando la Ecuación (1).

$S_0$ se adopta como solución actual $S_A$, $N_{cont} = t = 0$, $T = T_0$.

**ii. Iteración t**

Se genera aleatoriamente una solución candidata en el entorno de $S_A$, $S_c\ V(S_A)$.

Se evalúa $FO(S_c)$.

Se calcula $FO = FO(S_c) - FO(S_A)$.

Si $FO \leq 0$, $S_A = S_c$, $N_{cont} = 0$. *Obs: la nueva solución es aceptada.*

En otro caso, $p_A = e^{-\frac{FO}{T}}$. *Obs: la nueva solución es aceptada con probabilidad* $p_A$.

Se genera un número aleatorio uniformemente distribuido en el intervalo [0;1]:

Si $\leq p_A$, $S_A = S_c$, $N_{cont} = 0$;

En otro caso, $N_{cont} = N_{cont} + 1$.

$t = t + 1$

Si $t$ es un múltiplo de $N_T$, entonces $T = \alpha(T)$

Si $N_{cont} = N_{stop}$ o $T \leq T_f$, se detiene la ejecución.

### 3.1 Metaheurísticas de comparación

Las metaheurísticas de comparación son el algoritmo de *Large Neighborhood Search* (LNS) desarrollada por Erdoğan [21] y un algoritmo genético estándar.

La metaheurística de Erdoğan fue adaptada a partir de la heurística conocida como *adaptative* LNS desarrollada por Pisinger y Ropke [22] que extiende la heurística original de Shaw [23]. Una explicación simplificada de su funcionamiento y pseudo-código (ver Fig. 1) puede consultarse en [24].

El funcionamiento de la heurística está constituido por dos etapas principales. La primera, es la construcción de una solución inicial que se obtiene insertando clientes en las rutas disponibles de acuerdo con el objetivo a minimizar (operador Sol-Inicial). Luego, se realiza una mejora mediante el operador *Local-Search* que aplica cuatro técnicas de búsqueda local. Las primeras tres son conocidas como Exchange (se intercambian dos clientes), 1-OPT (se extrae un cliente de una ruta y reinserta en otra) y 2-OPT (se intercambian dos segmentos de rutas). Estos operadores se encuentran detallados en [25]. El cuarto operador de búsqueda local es *Vehicle-Exchange*. Este operador intenta intercambiar los vehículos asignados a dos rutas, por lo cual es útil cuando se trabaja con flota heterogénea.

La segunda etapa es donde se intenta obtener un mejoramiento de la solución de la etapa anterior. Se aplica, el operador *Destroy-And-Rebuild* que altera de manera considerable la solución actual para explorar otra región del espacio de búsqueda y así poder escapar de óptimos locales. Particularmente, se extraen tramos extensos de

rutas de la solución actual y los clientes extraídos vuelven a reinsertarse en aquellas posiciones que minimicen la función objetivo (*Cost*). Una solución es aceptada si tiene un mejor costo que la mejor solución hallada hasta el momento o, en caso de que una solución no tenga mejor costo que la solución anterior, puede incluso ser aceptada con una probabilidad *p-value*. Este proceso se repite cíclicamente hasta el límite temporal impuesto por el usuario.

```
procedure LNS(input)          ▷ Como input se ingresa la información
correspondiente a los clientes, vehículos y lugares de descarga (depots)
    S ← SolInicial()
    S' ← LocalSearch(S)
    BestS ← S'
    repeat
        S' ← DestroyAndRebuild(S')
        S' ← LocalSearch(S')
        if (Cost(S') <= Cost(S')) then
            BestS ← S'
        else
            p ← Random(0, 1)
            if (p <= pvalue) then
                S' ← BestS
            end if
        end if
    until Time elapsed > Time limit
    return BestS
end procedure
```

**Fig. 1.** Algoritmo LNS implementado en [21]. Fuente de la imagen: [24].

El algoritmo genético genérico fue desarrollado utilizando el *framework Distributed Evolutionary Algorithms in Python* (DEAP) [26]. Este posee las siguientes características:

**Representación de las soluciones**. Las soluciones se codifican como una permutación de enteros de longitud igual al número de contenedores $n$. Cada índice en el vector representa el orden de visita en el recorrido y el valor entero correspondiente representa uno de los contenedores.

**Inicialización.** La población de tamaño $\#P$ se inicializa aplicando un procedimiento aleatorio para generar las permutaciones con una distribución uniforme.

**Operadores genéticos**. El operador de recombinación es el *Crossover* parcialmente mapeado (PMX) aplicado sobre dos individuos seleccionados con probabilidad $p_c$. El operador de mutación se basa en *Swap Mutation* e intercambia dos elementos de la permutación. La mutación se aplica a un individuo con probabilidad $p_m$. Los operadores propuestos garantizan la factibilidad de la solución.

**Selección,** La selección es realizada a través de un torneo binario, de los cuales se selecciona el de mejor fitness.

**Reemplazo.** En cada iteración la población nueva está conformada por el mejor 10 % (con mejor *fitness*) de la población anterior y el resto por individuos nuevos generados a través de los operadores genéticos.

**Evaluación de *fitness*.** La función de *fitness* es decodificada leyendo los alelos de izquierda a derecha e insertando una visita al depósito cuando es necesario.
**Análisis paramétrico**. Los parámetros que fueron analizados mediante un análisis estadístico fueron el tamaño de la población $\#P$ -se consideraron los valores 100; 150 y 200- la probabilidad de mutación $p_m$ -se consideraron los valores 0,05; 0,1; 0,15; 0,20 y 0,25- y de cruzamiento $p_c$ -se consideraron los valores 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 y 1-. Los análisis paramétricos se realizaron sobre las instancias P-n16-k8, P-n19-k2 y P-n20-k2 propuestas en [27]. Para cada instancia y para cada configuración paramétrica se realizaron 50 ejecuciones independientes. Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para estudiar si la distribución de fitness tenía una distribución normal. Debido a que numerosas ejecuciones no se ajustaron a una distribución normal se evaluaron las medianas a través de la prueba de Friedman, seleccionándose la siguiente configuración: $\#P = 200$, $p_c = 0{,}9$ y $p_m = 0{,}25$.
**Corte por estancamiento.** Se incorporó un mecanismo de corte por estancamiento. El algoritmo se detiene cuando no se obtiene ninguna mejora en el fitness del mejor individuo durante un intervalo de tiempo igual al 50% del tiempo máximo de ejecución (Eq. (7)) de la instancia. En caso contrario, continúa hasta efectuar la generación –ciclo evaluación, selección, cruzamiento, mutación y reemplazo- que al finalizar haya sobrepasado el tiempo máximo de ejecución.

## 4 Resultados

Los resultados obtenidos corresponden a la resolución de cuatro escenarios reales de la logística de recolección de RSU de Bahía Blanca construidos en los trabajos [28] y [29]. Asimismo, la experimentación correspondiente a los enfoques metaheurísticos fue ampliada con la resolución problemas de un *benchmark* de la literatura.

### 4.1 Pruebas realizadas sobre escenarios reales

Los escenarios planteados en [28] y [29] constituyen casos reales diseñados en función del problema de RSU existente en la ciudad de Bahía Blanca.

Se estudian dos planificaciones distintas para la disposición de los contenedores, considerando la recolección de ambas fracciones de residuos: tanto los secos como los húmedos. Dichas planificaciones contemplan dicha opción de separar los contenedores en residuos húmedos y secos a la vez que consideran la opción de utilizar diferentes frecuencias de recolección. Las planificaciones difieren fundamentalmente en cuanto a la frecuencia con la cual se plantea recolectar los residuos secos, conformándose de esta manera los siguientes cuatro escenarios:

Escenario 1:
- Frecuencia de recolección [veces/semana]: 6.
- Tipo de residuo a recolectar: húmedo.

Escenario 2:
- Frecuencia de recolección [veces/semana]: 4.
- Tipo de residuo a recolectar: seco.

Escenario 3:

- Frecuencia de recolección [veces/semana]: 6.
- Tipo de residuo a recolectar: húmedo.

Escenario 4:

- Frecuencia de recolección [veces/semana]: 3.
- Tipo de residuo a recolectar: seco.

Resulta necesario aclarar que las diferencias indicadas entre los distintos escenarios repercuten esencialmente en la cantidad de contenedores que se utilizarán, sin embargo, la explicación de este hecho no forma parte de los objetivos planteados para este trabajo.

Para la resolución exacta se implementó mediante el software CPLEX versión 12.6.0.0 en un entorno de GAMS, utilizando la versión de paralelismo oportunista de dicho software, con la adición de la inecuación válida del mínimo número de viajes para acelerar la convergencia. Se fijó un límite de tiempo para cada ejecución de 15 000 segundos.

Tanto el algoritmo de *SA* como el de LNS fueron programados mediante la interfaz de *Visual Basic for Applications* (VBA) de MS Excel. Mientras que, para llevar a cabo el algoritmo de GA, fue utilizada la librería DEAP y se empleó Python como lenguaje de programación.

Cada algoritmo se ejecutó en distintos computadores personales, realizando 50 corridas para cada instancia con el fin de obtener una muestra más representativa del rendimiento de los algoritmos.

Los resultados obtenidos se exponen a continuación en las Tablas 1 y 2. En la primera se puede observar la mejor distancia -FO según Ec. (1)- obtenida para cada escenario de RSU con cada uno de los métodos propuestos de resolución. Para la solución de CPLEX, se reporta el *gap* calculado por el software, el cual indica que no se halló el valor óptimo en los escenarios 2 y 4. En la segunda tabla se contrastan tres indicadores de los conjuntos de soluciones obtenidos para cada metaheurística, una medida de centralización, como lo es el valor promedio de los resultados obtenidos, una medida de dispersión, esto es, el desvío estándar, y el *gap* promedio. El *gap* es calculado como la diferencia entre el valor promedio y el valor obtenido por CPLEX, dividida por este último.

**Tabla 1.** Resultados del problema de RSU: mejores soluciones de cada metaheurística.

| Instancia | Resolución exacta CPLEX | | Mejor resultado FO metaheurísticas | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | FO | CPLEX gap % | SA | LNS | GA |
| Escenario 1 | 22613,90 | 0,00 | 22814,00 | 22877,00 | 36712,00 |
| Escenario 2 | 41533,28* | 26,35 | 43763,00 | 43491,00 | 48561,00 |
| Escenario 3 | 27150,00 | 0,00 | 27707,00 | 27648,00 | 49463,00 |
| Escenario 4 | 62800,63* | 18,33 | 65995,00 | 65938,00 | 71185,00 |

* Debido a que no se encontró la solución óptima para estos escenarios, los valores corresponden al mejor valor hallado por CPLEX para el tiempo de ejecución (*Upper Bound*).

**Tabla 2.** Resultados del problema de RSU: performance media de cada metaheurística.

| Escenario | SA | | | LNS | | | GA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | FO promedio | Desvío est. | gap % | FO promedio | Desvío est. | gap% | FO promedio | Desvío est. | gap% |
| Escenario 1 | 23310,12 | 216,82 | 3,08 | 23542,56 | 246,68 | 4,11 | 39041,70 | 1164,59 | 72,65 |
| Escenario 2 | 44294,64 | 291,85 | 6,65 | 44229,92 | 303,77 | 6,49 | 51047,52 | 1247,72 | 22,91 |
| Escenario 3 | 28143,00 | 296,63 | 3,66 | 28032,34 | 223,30 | 3,25 | 53408,00 | 1396,83 | 96,99 |
| Escenario 4 | 66366,31 | 202,49 | 5,68 | 66356,19 | 180,61 | 5,66 | 73290,82 | 1096,94 | 16,70 |

El tiempo de ejecución máximo de todas las metehaurísticas se estableció proporcionalmente a la cantidad de nodos de la instancia -excluyendo al depósito- y deviene de la Ecuación (7).

$$Tiempo\ Máximo\ de\ Ejecución\ [seg] = \frac{(n°\ de\ nodos * 15 * 60)}{50} \quad (7)$$

Debe tenerse en cuenta que tanto el SA como el GA aquí descriptos cuentan con mecanismos de corte por estancamiento que pueden llevar a un tiempo real de ejecución sea inferior al máximo. Esto no es así para el LNS cuyo tiempo de ejecución será igual al máximo.

Si bien al momento de ejecutar los escenarios RSU en CPLEX se limitó el tiempo en 15 000 segundos, en los escenarios 1 y 3, en los que se alcanzó el valor óptimo, se hizo un corte de forma más temprana, habiendo consumido 1892 segundos en el primer escenario y 4367 segundos en el escenario 3.

A modo de evaluar su desempeño, en la Tabla 3 se registra la cantidad de iteraciones que requirió cada metaheurística en el tiempo establecido por la ecuación previamente mencionada.

**Tabla 3**. Tiempo e iteraciones promedio requeridos para los escenarios de RSU.

| Escenario | Tiempo de cómputo máximo (en segundos) | Número promedio de iteraciones realizadas | | |
|---|---|---|---|---|
| | | SA | LNS | GA |
| Escenario 1 | 1242 | 76860,12 | 33700,22 | 30739,22 |
| Escenario 2 | 1242 | 211455,16 | 16724,16 | 50439,62 |
| Escenario 3 | 1422 | 265653,78 | 11563,00 | 51479,40 |
| Escenario 4 | 1422 | 1516847,40 | 6129,72 | 63967,20 |

### 4.2 Pruebas realizadas sobre *benchmark* de la literatura

Para la ampliación de la comparación de metaheurísticas se utilizaron algunas instancias del conjunto de *benchmark* propuesto en [30], denominado Conjunto E. Tanto las instancias como las soluciones óptimas fueron descargadas del repositorio digital VRP-REP [32].
A continuación, se observa en la Tabla 4 los mejores resultados hallados en cada instancia por los algoritmos en estudio, mientras que en la Tabla 5 se ve reflejado el rendimiento de las metaheurísticas mediante los mismos parámetros utilizados para evaluar el desempeño en RSU.

**Tabla 4.** Resultados del conjunto E: mejores soluciones conocidas de cada metaheurística.

| Instancia | Solución óptima | Mejor resultado FO metaheurísticas | | |
|---|---|---|---|---|
| | | SA | LNS | GA |
| E-n13-k4 | 247,00 | 247,00 | 247,00 | 247,00 |
| E-n22-k4 | 375,00 | 375,00 | 375,00 | 375,00 |
| E-n23-k3 | 569,00 | 569,00 | 619,00 | 569,00 |
| E-n30-k3 | 534,00 | 503,00* | 534,00 | 529,00* |
| E-n31-k7 | 379,00 | 379,00 | 379,00 | 427,00 |
| E-n33-k4 | 835,00 | 835,00 | 835,00 | 859,00 |
| E-n51-k5 | 521,00 | 521,00 | 521,00 | 582,00 |

* Las soluciones encontradas tienen un menor valor de FO, pero mayor cantidad de rutas (k = 4) que la solución de referencia, hecho que se observa también en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Resultados del conjunto E: Performance media de cada metaheurística.

| Instancia | SA | | | LNS | | | GA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | FO | Desvío est. | *gap* % | FO | Desvío est. | *gap* %* | FO | Desvío est. | *gap* % |
| E-n13-k4 | 247,08 | 0,27 | 0,03 | 247,00 | 0,00 | 0,00 | 247,72 | 1,09 | 0,29 |
| E-n22-k4 | 376,14 | 3,24 | 0,30 | 375,00 | 0,00 | 0,00 | 393,94 | 14,90 | 5,05 |
| E-n23-k3 | 569,04 | 0,20 | 0,01 | 619,00 | 0,00 | 8,79 | 625,086 | 41,06 | 9,85 |
| E-n30-k3 | 503,04 | 0,28 | -5,80 | 535,08 | 1,45 | 0,20 | 583,86 | 36,37 | 9,34 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E-n31-k7 | 394,34 | 13,11 | 4,05 | 379,64 | 2,16 | 0,17 | 485,44 | 31,18 | 28,08 |
| E-n33-k4 | 836,44 | 2,21 | 0,17 | 835,00 | 0,00 | 0,00 | 903,42 | 23,11 | 8,19 |
| E-n51-k5 | 522,48 | 3,81 | 0,28 | 521,84 | 2,76 | 0,16 | 645,56 | 29,05 | 23,91 |

* El *gap* fue calculado como la diferencia entre el valor promedio y el óptimo, dividida por este último.

Al igual que la Tabla 3, se registraron el promedio de iteraciones alcanzadas en cada metaheurística en el tiempo dado por la Ecuación (7).

**Tabla 6**. Tiempo e iteraciones promedio realizadas por instancia.

| Instancia | Tiempo de cómputo máximo (en segundos) | Número promedio de iteraciones realizadas | | |
|---|---|---|---|---|
| | | SA | LNS | GA |
| E-n13-k4 | 216 | 76860,12 | 33700,22 | 30739,22 |
| E-n22-k4 | 378 | 211455,16 | 16724,16 | 50439,62 |
| E-n23-k3 | 396 | 265653,78 | 11563,16 | 51479,40 |
| E-n30-k3 | 522 | 1516847,40 | 6129,72 | 63967,2 |
| E-n31-k7 | 540 | 2390054,58 | 9992,40 | 6800,86 |
| E-n33-k4 | 576 | 3614994,88 | 4502,92 | 68233,54 |
| E-n51-k5 | 900 | 6460189,50 | 2788,66 | 91230,70 |

### 4.3 Análisis de resultados

A partir del análisis de los resultados se verifica que los tres procedimientos metaheurísticos resultan válidos para utilizarlos en la resolución de los problemas del tipo CVRP.

Es necesario aclarar que tanto SA como GA encuentran un valor menor al óptimo reportado en la bibliografía para la instancia E-n30-k3 dado que, al no contar con una restricción que indique el número de rutas, presentan una solución con una ruta adicional. Es por este motivo también que se ve observa un valor negativo del gap en dicha instancia dentro de la Tabla 5 para el SA.

La experiencia realizada sobre *benchmark* y posteriormente sobre los escenarios de RSU, marcó un buen rendimiento tanto del algoritmo propuesto SA como el LNS de la literatura al arrojar valores considerablemente pequeños del *gap* promedio. Por otra parte, GA mostró en comparación con el SA y el LNS un bajo rendimiento que se ve reflejado nuevamente en el *gap* promedio, posiblemente se deba a que se utilizó un algoritmo genético estándar con una función de decodificación simple tomada de aplicaciones en problemas irrestrictos como el Problema Agente Viajero.

En cuanto a las iteraciones promedio realizadas, se observa que SA y GA alcanzan mayor cantidad de iteraciones a medida que crece la cantidad de nodos, no sucede lo mismo en el caso de LNS para el que donde el número de iteraciones disminuye al aumentar la cantidad de nodos.

## 5 Conclusiones

Encontrar nuevas herramientas para volver más eficiente la logística de residuos sólidos urbanos (RSU) constituye una inquietud acuciante en las sociedades actuales. Este trabajo está centrado en la resolución de problemas de recolección de residuos para el área de Bahía Blanca. Particularmente se aborda una problemática encontrada en trabajos previos donde la resolución exacta de problemas de recolección de residuos resultaba ineficiente, debido a que se requería la partición de los escenarios en porciones más pequeñas para lograr la convergencia a una solución factible aceptable.

Por ello, en este trabajo se presenta un estudio comparativo entre la resolución exacta y tres herramientas metaheurísticas de resolución para el problema de la recolección de RSU en Bahía Blanca. La resolución exacta está basada en una formulación de programación matemática del modelo CVRP mediante el software CPLEX. Por otro lado, en lo que concierne a la resolución metaheurística se propone un algoritmo de recocido simulado que es comparado contra un algoritmo tomado de la literatura basado en *Large Neighborhood Search* (LNS) y un algoritmo genético estándar. Además, se extiende la comparación de las metaheurísticas con algunas instancias de un conocido *benchmark* de la literatura. El algoritmo de recocido simulado propuesto tiene un desempeño similar que el algoritmo LNS de la literatura -obteniendo en varias ocasiones valores cercanos a la solución óptima- y supera marcadamente al algoritmo genético estándar.

Luego del trabajo experimental realizado, se puede afirmar que la aplicación de estos algoritmos redunda en la obtención de resultados potencialmente aceptables y competentes, contando las metaheurísticas con la ventaja del menor esfuerzo de cómputo requerido para llegar a la solución.

Como líneas de trabajo a futuro se tiene previsto experimentar con escenarios de mayor tamaño de la ciudad Bahía Blanca, utilizando las metaheurísticas propuestas, que fueron validadas en el presente trabajo. Por otro lado, se propone continuar mejorando la formulación de programación matemática, implementada a través de CPLEX, mediante la inclusión de inecuaciones válidas adicionales que permitan reducir los tiempos de resolución. Además, se propone desarrollar la función de codificación del algoritmo genético con un enfoque que se adapte mejor al tipo de problema CVRP abordado.

## Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer el financiamiento recibido de la Universidad Nacional del Sur para el desarrollo de los proyectos PGI 24/J084 y PGI 24/ZJ35. Además, el primer autor de este trabajo agradece el financiamiento recibido

del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) a través de una Beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas.

## Referencias

1. Hoornweg, D.; Bhada-Tata, P. (2012). "What a waste: a global review of solid waste management". World Bank. Vol. 15, pág. 116. Washington DC, EUA.
2. Tchobanoglous, G., Kreith, F.; Williams, M. E. (2002). "Introduction". En: Handbook of solid waste management. G. Tchobanoglous, F. Kreith (Editores). McGraw-Hill, EUA. Segunda edición. Capítulo 1.
3. Miller, C. E., Tucker, A. W., y Zemlin, R. A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. Journal of the ACM (JACM), 7(4), 326-329.
4. Beliën, J., De Boeck, L.; Van Ackere, J. (2012). "Municipal solid waste collection and management problems: a literature review". Transportation Science. Vol. 48, no. 1, págs. 78-102.
5. Han, H.; Ponce Cueto, E. (2015). "Waste collection vehicle routing problem: literature review". PROMET - Traffic & Transportation. Vol. 7, no. 4, págs. 345-358.
6. Bonomo, F., Durán, G., Larumbe, F.; Marenco, J. (2009). "Optimización de la Recolección de Residuos en la Zona Sur de la Ciudad de Buenos Aires". Revista de Ingeniería de Sistemas. Vol. 23.
7. Larrumbe, F. (2009). Optimización de la Recolección de Residuos en la Zona Sur de la Ciudad de Buenos Aires. Tesis de Grado. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
8. Bonomo, F., Durán, G., Larumbe, F.; Marenco, J. (2012). "A method for optimizing waste collection using mathematical programming: a Buenos Aires case study". Waste Management & Research. Vol. 30, no. 3, págs. 311-324.
9. Bertero, F. (2015). Optimización de recorridos en ciudades. Una aplicación al sistema de recolección de residuos sólidos urbanos en el Municipio de Concordia. Tesina de Grado. Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina.
10. Bianchetti, M. L. (2015). Algoritmos de zonificación para recolección de residuos. Tesis de Grado. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
11. Braier, G., Durán, G., Marenco, J.; Wesner, F. (2015). "Una aplicación del problema del cartero rural a la recolección de residuos reciclables en Argentina". Revista de Ingeniería de Sistemas. Vol. 29.
12. Braier, G., Durán, G., Marenco, J.; Wesner, F. (2017). "An integer programming approach to a real-world recyclable waste collection problem in Argentina". Waste Management & Research. Vol. 35, no. 5, págs. 525-533.
13. Rossit, D. G., Broz, D., Rossit, D. A., Frutos, M.; Tohmé, F. (2015). "Modelado de una red urbana de recolección de residuos plásticos en base a optimización multi-objetivo". Actas de la XXVI EPIO y VIII RED-M. Bahía Blanca, Argentina.
14. Cavallin, A., Vigier, H. P.; Frutos, M. (2015a). "Aplicación de un modelo CVRP-RB a un caso de logística inversa". Actas de la XXVI Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa (EPIO) y VIII RED-M. Bahía Blanca, Argentina.
15. Cavallin, A., Vigier, H. P.; Frutos, M. (2015b). "Logística inversa y ruteo en el sector de recolección informal de residuos sólidos urbanos". En: Avances en Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos 2014-15. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina. Págs. 37-49.
16. Lenstra, J. K.; Kan, A. R. (1981). "Complexity of vehicle routing and scheduling problems". Networks. Vol. 11, no. 2, págs. 221-227.

17. Rossit, D. G., Toutouh, J., y Nesmachnow, S. (2020). Exact and heuristic approaches for multi-objective garbage accumulation points location in real scenarios. Waste Management, 105, 467-481.
18. Toncovich, A., Burgos, T.; Jalif., M. (2017). "Planificación de la logística de recolección de miel en una empresa apícola". Actas del X Congreso Argentino de Ingeniería Industrial. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Págs. 397-406.
19. Toncovich, A., Rossit, D. A., Frutos, M.; Rossit, D. G. (2019). "Solving a multi-objective manufacturing cell scheduling problem with the consideration of warehouses using a Simulated Annealing based procedure". International Journal of Industrial Engineering Computations. Vol. 10, no. 1, págs. 1-16.
20. Kirkpatrick, S.; Gelatt, C. D.; Vecchi, M. P. (1983). "Optimization by simulated annealing". Science. Vol. 220, no. 4598, págs. 671-680.
21. Erdoğan, G. (2017). "An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems". Computers & Operations Research. Vol. 84, págs. 62-72.
22. Pisinger, D.; Ropke, S. (2007). "A general heuristic for vehicle routing problems". Computers & Operations Research. Vol. 34, no. 8, págs. 2403-2435.
23. Shaw, P. (1998). "Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems". Actas de la International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming. Springer. Berlin, Heidelberg. Págs. 417-431.
24. Cavallin, A., Rossit, D. G., Savoretti, A. A., Sorichetti, A. E.; Frutos, M. (2017). "Logística inversa de residuos agroquímicos en Argentina: resolución heurística y exacta". Actas del XV Simposio en Investigación Operativa - 46 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa. Córdoba, Argentina.
25. Groër, C., Golden, B.; Wasil, E. (2010). "A library of local search heuristics for the vehicle routing problem". Mathematical Programming Computation. Vol. 2, no. 2, págs. 79-101.
26. Fortin, F. A., De Rainville, F. M., Gardner, M. A. G., Parizeau, M., y Gagné, C. (2012). DEAP: Evolutionary algorithms made easy. The Journal of Machine Learning Research, 13(1), 2171-2175.
27. Augerat, P. (1995). Approche polyèdrale du problème de tournées de véhicules. Tesis Doctoral, Institut polytechnique de Grenoble. Grenoble, Francia (1995).
28. Herran Symonds, V. (2019). Ubicación de contenedores diferenciados de RSU. Tesis Final de Carrera. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
29. Signorelli Nuñez, M. (2019). Análisis del sistema actual de recolección de RSU en el Barrio Universitario de la ciudad de Bahía Blanca. Tesis Final de Carrera. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
30. Christofides, N.; Eilon, S. (1969). "An algorithm for the vehicle-dispatching problem". Journal of the Operational Research Society. Vol. 20, no.3, págs. 309-318.
31. Christofides, N., Mingozzi, A.; Toth P. (1979). "The vehicle routing problem". En: Combinatorial optimization. N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, C. Sandi (Editores). John Wiley, Chichester. Capítulo 14.
32. Mendoza, J., Hoskins, M., Guéret, C., Pillac, V.; Vigo, D. (2014). "VRP-REP: a vehicle routing community repository". Actas del Third meeting of the EURO Working Group on Vehicle Routing and Logistics Optimization (VeRoLog'14). Oslo, Noruega.
33. Cavallin, A., Rossit, D. G., Herrán Symonds, V., Rossit, D. A., y Frutos, M. (2020). Application of a methodology to design a municipal waste pre-collection network in real scenarios. Waste Management & Research, 38(1_suppl), 117-129.