

# Modelización con Matemáticas. Una ayuda para resolver problemas en la Industria y en la Sociedad

Laureano F. Escudero  
Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles (Madrid), Spain

Instituto de Matemática Interdisciplinar  
Universidad Complutense de Madrid  
Noviembre 29, 2018

- 'En Matemáticas no está ya todo investigado?'
- El porqué de la Optimización Matemática
- Componentes en Optimización Matemática
- Tipos de Optimización Matemática
- Campo de aplicación en el sector Privado
- Campo de aplicación en el sector Público
- Campo de aplicación en proyectos 'Smart cities'
- Conexión con otros sectores tecnológicos
- Grandes matemáticos en Optimización
- Proyectos de Transferencia de Tecnología Matemática
- Final. La Belleza de las Matemáticas

Dos típicas preguntas que todavía nos suelen hacer, incluso personas con título universitario:

- Primera, 'En Matemáticas no está ya todo investigado?'
- Segunda, 'Pero, las Matemáticas sirven para algo más que para enseñar a otros a dar clases de matemáticas?'
- Me gustaría creer que al final de la mañana tendremos suficiente munición, si no la teneis ya, para contestar con contundencia a esas dos preguntas.
- Parafraseando a un gran pensador, me atrevería a decir que las Matemáticas son hoy día uno de los grandes motores de la Sociedad.

(sin entrar en la discusión preconizada por Sir James Jean "God made the mathematics and man made the rest", in the book The Mysterious Universe, Cambridge University Press, 1930)

- En primer lugar, quisiera puntualizar que, aunque casi es una batalla perdida, debemos argumentar en contra de identificar Matemáticas con Inteligencia Artificial, Analytics, etc.

Y no tengo nada en contra de esas disciplinas científicas, salvo a veces en su mala utilización, así llamada Artificial Unintelligent (es decir, estupidez artificial) en el libro 'Artificial Unintelligent. How Computers Misunderstand the World', The MIT Press, por Meredith Broussard (con la que estoy totalmente de acuerdo).

- Me gustaría centrarme en hablar de Matemática Computacional en sentido muy amplio, y más en particular, en Optimización Matemática, como una disciplina importante en la que confluyen muchas otras disciplinas matemáticas en su finalidad de

**Ayuda para resolver problemas en la Industria y en la Sociedad.**

# El porqué de la Optimización Matemática

- Disciplina matemática que aplica métodos avanzados para ayudar a las empresas e instituciones, de forma muy relevante, en la toma de decisiones para mejorar los procesos productivos y optimizar sus recursos.

Utiliza métodos para estructurar problemas que permiten una **modelización fuerte** de problemas frecuentemente complejos con fácilmente un millón+ de variables y condiciones

(No confiemos exclusivamente en la potencia del cálculo y capacidad de almacenamiento de los ordenadores,

ni en el ordenador cuántico que quizá no esté disponible hasta dentro de varias décadas, Jeremy O'Brien, Director, Centre for Quantum Photonics, UK, 2011).

# Componentes en Optimización Matemática

- Teoría: condiciones necesarias y/o suficientes de optimalidad, óptimos locales y globales, valores extremos, dualidad, complejidad computacional (P, NP), etc.
- Estrategías de Modelización débil, fuerte (el gran reto en optimización), envolvente convexa.

Problema original y tipos de relajaciones. Grado de quasi-optimalidad.

- Algoritmia y su complejidad: Exacta, matheurística, metaheurística, heurística.
- Implementación:  
Secuencial, HPC simple, HPC cooperativo, etc.
- Análisis de sensibilidad

# Tipos de Optimización Matemática

- Optimización con variables continuas, enteras, binarias, mixtas.
- Optimización sin condiciones, con condiciones lineales, cuadráticas, convexas, no-convexas.
- Optimización entera mixta, Optimización combinatoria
- Optimización Localización, Asignación, TSP, LOP, SOP, TAP, p-median, hub location, NEP, GQAP, grafos
- Optimización determinista uni-periodo, multi-periodo
- Optimización uni-objetivo, multi-objetivo, por metas, compromiso, etc.
- Optimización uni-nivel, bi-level, Stackelberg games
- Optimización estocástica (i.e., bajo incertidumbre) y todas sus variantes.

Generación de árboles de escenarios, principio de no-anticipatividad, incertidumbre endógena y exógena, stochastic equilibrium, funcionales de aversión al riesgo basados en dominancia estocástica, y otros.

# Campo de aplicación en el sector Privado.

## Nuestra experiencia. Trabajo en equipo

### Sector Producción / Manufacturación

- production planning, sequencing and scheduling
- product selection
- plant capacity expansion planning
- vendor selection of key raw material
- strategic Supply Chain Management (SCM)
- tactical SCM
- closed-up SCM
- facilities selection and customers assignment in static and dynamic environments



# Campo de aplicación en el sector Privado.

## Nuestra experiencia. Trabajo en equipo (c)

### Sector Energía

- power maintenance and operation
- generation and transmission capacity expansion planning and renewable energy sources location
- 'smart energy': prosumers (auto-generación / consumo de energía en edificios) planning mngmt
- tactical portfolio planning in Natural Gas SCM
- oil, hydrocarbon and chemical supplying
- oil refinery scheduling, and blending
- transformation and distribution logistics
- capacitated de-location of gas / oil stations in market restructuring

# Campo de aplicación en el sector Privado.

## Nuestra experiencia. Trabajo en equipo (c)

### Sector Transporte / Comunicaciones

- rapid transit network design planning
- telecommunications network design planning
- air traffic flow management and air conflict reduction
- revenue management  
(ticket reservation: air flight, rent-a-car, hotel, etc.)
- Tall Assignment Problem
- p-median location / assignment Problem
- Hub-based network expansion planning and route assignment

# Campo de aplicación en el sector Privado.

## Nuestra experiencia. Trabajo en equipo (c)

### Sector Financiero

- assets / liabilities management
- financial derivatives structuring
- credit scoring
- customer management
- capacitated de-location of financial branches restructuring

Multi-period multi-product advertising budget allocation

# Campo de aplicación en el sector Privado.

## Nuestra experiencia. Trabajo en equipo (c)

### Sector Recursos Naturales

- cluster location in multi-period copper extraction planning in mining
- forestry harvesting planning and related road construction selection
- land irrigation scheduling

# Campo de aplicación en el sector Público.

## Nuestra experiencia. Trabajo en equipo

- air pollution reduction planning management
- pattern recognition (today, so-named Machine Learning) of satellite-driven big data for assessing crops volume, etc.
- water resources management planning
- national road network expansion system / budget allocation
- police stations location setting;  
police groups selection and assigning
- penitentiary network expansion system
- rapid transport network design and multi-period expansion planning

# Campo de aplicación en el sector Público.

## Nuestra experiencia. Trabajo en equipo (c)

- resources allocation planning and site location for natural disaster relief
- forest fire effect mitigation planning

# Campo de aplicación en proyectos 'Smart cities'.

## Trabajo en equipo

- ciencias de la salud: diagnosis. DNA structure, etc.
- localización de ambulatorios
- flota de ambulancias: dimensionamiento y localización, service scheduling
- rapid transit network design, dimensioning and scheduling: bus, metro, tren
- air polución reducción

# Campo de aplicación en proyectos 'Smart cities'.

## Trabajo en equipo (c)

- mitigación efectos desastres (naturales, humanos): riadas, incendios, terremotos, terrorismo
- smart mobility (e.g. on-demand public autonomous shuttles with dynamic routing)
- "last mile delivery"(robots, drones, automated lockers)
- atención al Ciudadano via internet devices
- lost information recovering and noise elimination



### Sectores emergentes

- Neurosciences
- On-line product selling logistics: location, dimensioning, "last mile delivery" scheduling / resources allocation
- Robotics
- Machine Learning  
(image processing, speech processing, natural language processing)
- Drones fleet NEP and traffic flow
- Big Data (IoT), Data Science

### Sectores emergentes

- Neurosciences
- On-line product selling logistics: location, dimensioning, "last mile delivery" scheduling / resources allocation
- Robotics
- Machine Learning  
(image processing, speech processing, natural language processing)
- Drones fleet NEP and traffic flow
- Big Data (IoT), Data Science

# Optimización Matemática.

## Conexión con otros sectores tecnológicos

### Sectores emergentes

- Neurosciences
- On-line product selling logistics: location, dimensioning, "last mile delivery" scheduling / resources allocation
- Robotics
- Machine Learning  
(image processing, speech processing, natural language processing)
- Drones fleet NEP and traffic flow
- Big Data (IoT), Data Science

### Sectores emergentes

- Neurosciences
- On-line product selling logistics: location, dimensioning, "last mile delivery" scheduling / resources allocation
- Robotics
- Machine Learning  
(image processing, speech processing, natural language processing)
- Drones fleet NEP and traffic flow
- Big Data (IoT), Data Science

### Sectores emergentes

- Neurosciences
- On-line product selling logistics: location, dimensioning, "last mile delivery" scheduling / resources allocation
- Robotics
- Machine Learning  
(image processing, speech processing, natural language processing)
- Drones fleet NEP and traffic flow
- Big Data (IoT), Data Science

### Sectores emergentes

- Neurosciences
- On-line product selling logistics: location, dimensioning, "last mile delivery" scheduling / resources allocation
- Robotics
- Machine Learning  
(image processing, speech processing, natural language processing)
- Drones fleet NEP and traffic flow
- Big Data (IoT), Data Science

## GRANDES MATEMÁTICOS EN OPTIMIZACIÓN

- Issac Newton, Gottfried Leibniz, Leonhard Euler, Jean Louis Lagrange, Augustin Cauchy
- John von Neumann, John Nash, William Tucker, George Dantzig, Harold Khun, Lester Ford, Delbert Fulkerson
- Martin Beale, Ralph Gomory, Philip Wolfe, Alan Hoffman, Egon Balas, Jack Edmonds, Joseph Benders
- Leonid Khachiyan, Arkadi Nemirovskii, Yuri Nesterov
- Pierre Huard, Roger Fletcher, Mike Powell, Anthony Fiacco, Garth McCormick, Olvi Mangasarian, Walter Murray, Dimitri Bertsekas, Donald Goldfarb, David Shanno
- Richard Karp, Arthur Geoffrion, Fred Glover, George Nemhauser, Laurence Wolsey, Stephen Wright
- Manfred Padberg, Ellis Johnson, Martin Groetschel, Gerard Plateau, Claude Lemarechal
- Andras Prekopa, Tyrell Rockafellar, Roger Wets, John Birge, Werner Roemisch, Alex Shapiro, Georg Pflug, Darinka Dentcheva, Andrzej Ruszczyński, Ruediger Schultz

## Iniciativas de Concienciación a la Sociedad e Industria

- REM (Red Estratégica en Matemáticas) MINECO:  
Transferencia y divulgación para transformar las matemáticas en un bien social
- Asociación EU-MATH-IN
- 148 ESGIs (European Study Groups within Industry)
- EC COST Action TD1409 MI-NET
- Asociación Española Red math-in
- Modeling Weeks en UCM, IMUS, CRM, BCAM, ICMAT, Iberian V MWM UNL, Iberian VI MWM SE
- ICIAM'19 VA, CTMI'19 SdC



# Felicitación a los participantes en el Concurso de Modelización Matemática

## PLANIFICACION DE LA PRODUCCION Y APROVISIONAMIENTO MULTI-PERIODO (PPA)

- Diversos tipos de modelización en Optimización Matemática
- Extensión a un problema real en la industria:
  - Modelización fuerte
  - Generación arbol de escenarios para tratar la incertidumbre en precio y demanda de productos
  - Algoritmo de Descomposición dadas las grandes dimensiones del problema
  - Computación en Paralelo (Cooperative HPC)
- Belleza de las Matemáticas: El mismo tipo de esquema se ha utilizado en la optimización del PPA en dos grandes empresas de sectores distintos (Ordenadores y Automoción)

# Felicitación a los participantes en el Concurso de Modelización Matemática

## PLANIFICACION DE LA PRODUCCION Y APROVISIONAMIENTO MULTI-PERIODO (PPA)

- Diversos tipos de modelización en Optimización Matemática
- Extensión a un problema real en la industria:
  - Modelización fuerte
  - Generación arbol de escenarios para tratar la incertidumbre en precio y demanda de productos
  - Algoritmo de Descomposición dadas las grandes dimensiones del problema
  - Computación en Paralelo (Cooperative HPC)
- Belleza de las Matemáticas: El mismo tipo de esquema se ha utilizado en la optimización del PPA en dos grandes empresas de sectores distintos (Ordenadores y Automoción)

# Felicitación a los participantes en el Concurso de Modelización Matemática

## PLANIFICACION DE LA PRODUCCION Y APROVISIONAMIENTO MULTI-PERiodo (PPA)

- Diversos tipos de modelización en Optimización Matemática
- Extensión a un problema real en la industria:
  - Modelización fuerte
  - Generación arbol de escenarios para tratar la incertidumbre en precio y demanda de productos
  - Algoritmo de Descomposición dadas las grandes dimensiones del problema
  - Computación en Paralelo (Cooperative HPC)
- Belleza de las Matemáticas: El mismo tipo de esquema se ha utilizado en la optimización del PPA en dos grandes empresas de sectores distintos (Ordenadores y Automoción)

# Felicitación a los participantes en el Concurso de Modelización Matemática

## PLANIFICACION DE LA PRODUCCION Y APROVISIONAMIENTO MULTI-PERiodo (PPA)

- Diversos tipos de modelización en Optimización Matemática
- Extensión a un problema real en la industria:
  - Modelización fuerte
  - Generación arbol de escenarios para tratar la incertidumbre en precio y demanda de productos
  - Algoritmo de Descomposición dadas las grandes dimensiones del problema
  - Computación en Paralelo (Cooperative HPC)
- Belleza de las Matemáticas: El mismo tipo de esquema se ha utilizado en la optimización del PPA en dos grandes empresas de sectores distintos (Ordenadores y Automoción)

# Felicitación a los participantes en el Concurso de Modelización Matemática

## PLANIFICACION DE LA PRODUCCION Y APROVISIONAMIENTO MULTI-PERIODO (PPA)

- Diversos tipos de modelización en Optimización Matemática
- Extensión a un problema real en la industria:
  - Modelización fuerte
  - Generación arbol de escenarios para tratar la incertidumbre en precio y demanda de productos
  - Algoritmo de Descomposición dadas las grandes dimensiones del problema
  - Computación en Paralelo (Cooperative HPC)
- Belleza de las Matemáticas: El mismo tipo de esquema se ha utilizado en la optimización del PPA en dos grandes empresas de sectores distintos (Ordenadores y Automoción)

# Felicitación a los participantes en el Concurso de Modelización Matemática

## PLANIFICACION DE LA PRODUCCION Y APROVISIONAMIENTO MULTI-PERIODO (PPA)

- Diversos tipos de modelización en Optimización Matemática
- Extensión a un problema real en la industria:
  - Modelización fuerte
  - Generación arbol de escenarios para tratar la incertidumbre en precio y demanda de productos
  - Algoritmo de Descomposición dadas las grandes dimensiones del problema
  - Computación en Paralelo (Cooperative HPC)
- Belleza de las Matemáticas: El mismo tipo de esquema se ha utilizado en la optimización del PPA en dos grandes empresas de sectores distintos (Ordenadores y Automoción)

# Felicitación a los participantes en el Concurso de Modelización Matemática

## PLANIFICACION DE LA PRODUCCION Y APROVISIONAMIENTO MULTI-PERIODO (PPA)

- Diversos tipos de modelización en Optimización Matemática
- Extensión a un problema real en la industria:
  - Modelización fuerte
  - Generación arbol de escenarios para tratar la incertidumbre en precio y demanda de productos
  - Algoritmo de Descomposición dadas las grandes dimensiones del problema
  - Computación en Paralelo (Cooperative HPC)
- Belleza de las Matemáticas: El mismo tipo de esquema se ha utilizado en la optimización del PPA en dos grandes empresas de sectores distintos (Ordenadores y Automoción)

## Our papers on mixed 0-1 mathematical optimization under uncertainty, SMIO

- L.F. Escudero, P.V. Kamesam, A. King, R.J-B. Wets, Production planning via scenario modelling, *Annals of Operations Research* 43: 311-335, 1993.
- M. Alvarez, C.M. Cuevas, L.F. Escudero, J.L. de la Fuente, C. Garcia, F.J. Prieto, Network planning under uncertainty with an application to hydropower generation, *TOP* 2:25-58, 1994.
- L.F. Escudero. Robust Portfolios for Mortgage-Backed Securities. In S.A. Zenios, editor, *Quantitative Methods. AI and Supercomputers in Finance*. Unicom, London, 201-228, 1995.
- L.F. Escudero, J.L. de la Fuente, C. Garcia, F.J. Prieto, Hydropower generation management under uncertainty via scenario analysis and parallel computation, *IEEE Transactions on Power Systems* 11:683-690, 1996.
- L.F. Escudero, On using multistage linking constraints for stochastic optimization as a decision making-aid, *Revista de la Academia de Ciencias* 92 (1998) 371-376.
- L.F. Escudero, I. Paradinas, J. Salmeron, M. Sanchez, SEGEM: A Simulation approach for Electric Generation Management, *IEEE Transactions on Power Systems* 13 (1998) 738-748.
- L.F. Escudero, J.L. de la Fuente, C. Garcia, F.J. Prieto, A parallel computation approach for solving multistage stochastic network problems, *Annals of Operations Research* 90 (1999) 131-160.
- L.F. Escudero, F.J. Quintana, J. Salmeron. CORO: A modeling and algorithmic framework for oil supply, transformation and distribution optimization under uncertainty, *European Journal of Operational Research* 114:638-656, 1999.



- L.F. Escudero, E. Galindo, G. Garcia, E. Gomez, V. Sabau. SCHUMANN. A modeling framework for supply chain management under uncertainty, *European Journal of Operational Research* 119:14-34, 1999.
- A. Alonso, L.F. Escudero, M.T. Ortun. A stochastic 0-1 program based approach for Air Traffic Management, *European Journal of Operational Research* 120:47-62, 2000.
- A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, A. Garin, M.T. Ortuno, G. Perez. A Stochastic 0-1 Program based approach for Strategic Supply Chain Planning under Uncertainty, *Journal of Global Optimization* 26:97-124, 2003.
- A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, M.T. Ortuno. BFC, a Branch-and-Fix Coordination algorithmic framework for solving some types of stochastic pure and mixed 0-1 programs, *European Journal of Operational Research* 151:503-519, 2003.
- A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, A. Garin, M.T. Ortuno, G. Perez. On the Product Selection and Plant Dimensioning Problem under Uncertainty, *Omega, The International Journal of Management Science* 33:307-318, 2005.
- A. Alonso Ayuso, L.F. Escudero, C. Pizarro, H.E. Romeijn, D. Romero Morales. On solving the multi-period single-sourcing problem under uncertainty, *Computational Management Science* 3 (2006) 29-53.
- A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, M.T. Ortuno. On Modeling Planning under Uncertainty in Manufacturing, *SORT, Statistics and Operations Research Transactions* 31:109-150, 2007.
- L.F. Escudero, A. Garin, M. Merino, G. Perez, A two-stage stochastic integer programming approach as a mixture of Branch-and-Fix Coordination and Benders Decomposition schemes, *Annals of Operations Research* 152:395-420, 2007.

- L.F. Escudero, M.A. Garin, M. Merino, G. Perez. The value of the stochastic solution in multistage problems, *TOP* 15:48-64, 2007.
- A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, M.T. Ortuno, C. Pizarro. On SIP algorithms for minimizing the mean-risk function in the Multi-Period Single Source Problem under uncertainty, *Annals of Operations Research* 166:223-242, 2009.
- M.P. Cristobal, L.F. Escudero, J.F. Monge. On Stochastic Dynamic Programming for solving large-scale tactical production planning problems, *Computers & Operations Research* 36:2418-2428, 2009.
- A. Alonso-Ayuso, N. Domenica, L.F. Escudero, C. Pizarro. Structuring bilateral energy contract portfolios in competitive markets, in G. Consigli, M.I. Bertocchi, D.A.H. Dempster (eds.), *Stochastic optimization methods in Finance and Energy*, Springer, 2011, pp.203-225.
- A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, M. Guignard, M. Quinteros, A. Weintraub. Forestry Management under Uncertainty, *Annals of Operations Research* 190:17-39, 2011.
- L.F. Escudero, A. Garin, G. Perez, A. Unzueta, Lagrangean decomposition for large-scale two-stage stochastic mixed 0-1 problems. *TOP* 20:347-374, 2012.
- L. Aranburu, L.F. Escudero, M.A. Garin, G. Perez, A so-called Cluster Benders Decomposition approach for solving two-stage stochastic linear programs, *TOP* 20:279-295, 2012.
- A. Agustin, A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, C. Pizarro. On air traffic flow management with rerouting. Part II: Stochastic case, *European Journal of Operations Research* 219:167-177, 2012.
- P. Hernandez, A. Alonso-Ayuso, F. Bravo, L.F. Escudero, M. Guignard, V. Marianov, A. Weintraub, Prison Facility Site selection under Uncertainty, *Computers & Operations Research*, 39:2232-2241, 2012.

- L.F. Escudero, M.A. Garin, M. Merino, G. Perez, An algorithmic framework for solving large scale multi-stage stochastic mixed 0-1 problems with nonsymmetric scenario trees, *Computers & Operations Research* 39:1133-1144, 2012.
- L. Aranburu, L.F. Escudero, M.A. Garin, G. Perez. Stochastic models for optimizing immunization strategies in fixed-income security portfolios under some sources of uncertainty. In H. Gassmann, S.W. Wallace, W.T. Ziemba (eds.), *Applications in Finance, Energy, Planning and Logistics*. World Scientific Publishers, 2012 pp. 173-220
- L.F. Escudero, J.F. Monge, D. Romero Morales, J. Wang, Expected Future Value Decomposition Based Bid Price Generation for Large-Scale Network Revenue Management, *Transportation Science* 47:181-197, 2013.
- L.F. Escudero, M.A. Garin, G. Perez, A. Unzueta, Scenario cluster based decomposition of the Lagrangean dual in two-stage stochastic integer programming, *Computers & Operations Research* 40:362-377, 2013.
- M. Albareda-Sambola, A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, E. Fernandez, C. Pizarro, On solving the multi-period location-assignment problem under uncertainty. *Computers & Operations Research* 40:2878-2892, 2013.
- U. Aldasoro, L.F. Escudero, M. Merino, G. Perez. An algorithmic framework for solving large-scale multistage stochastic mixed 0-1 problems with nonsymmetric scenario trees. Part II: Parallelization. *Computers & Operations Research* 40:2950-2960, 2013.
- A. Alonso-Ayuso, F. Carvallo, L.F. Escudero, M. Guignard, J. Pi, R. Puranmalka and A. Weintraub. On the optimization of copper extraction in mining under uncertainty in copper prices. *European Journal of Operational Research*, 233:711-726, 2014.

- C. Beltran-Royo, L.F. Escudero, J.F. Monge, R.E. Rodriguez-Ravines. An effective heuristic for multistage stochastic linear optimization. *Computers & Operations Research*, 51:237-250 2014.
- L.F. Escudero, J.F. Monge, D. Romero-Morales, An SDP approach for multiperiod mixed 0-1 linear programming models with stochastic dominance constraints for risk management. *Computers & Operations Research*, 58:32-40, 2015.
- U. Aldasoro, L.F. Escudero, M. Merino, J.F. Monge, G. Perez. On parallelization of a Stochastic Dynamic Programming algorithm for solving large-scale mixed 0-1 problems under uncertainty. *TOP*, 23:703-742, 2015.
- L.F. Escudero, M.A. Garin, A. Unzueta. Cluster Lagrangean decomposition in multistage stochastic optimization. *Computers & Operations Research*, 67:48-62, 2016.
- L.F. Escudero, A. Garin, M. Merino, G. Perez. On time stochastic dominance induced by mixed-integer linear recourse in multistage stochastic programs. *European Journal of Operational Research*, 249:164-176, 2016.
- C. Beltran-Royo, L.F. Escudero, H. Zhang. Multiperiod Multiproduct Advertising Budgeting: Stochastic Optimization Modeling. *OMEGA The International Journal of Management Science*, 59:26-39, 2016.
- U. Aldasoro, L.F. Escudero, M. Merino, G. Perez. A parallel Branch-and-Fix Coordination based matheuristic algorithm for solving large-scale multistage stochastic mixed 0-1 problems. *European Journal of Operational Research*, 258: 590-606, 2017.
- L.F. Escudero, M.A. Garin, A. Unzueta. Cluster Lagrangean decomposition for risk averse in multistage stochastic optimization. *Computers & Operations Research*, 85:154-171, 2017.

- L.F. Escudero, M.A. Garin, A. Unzueta. Cluster Lagrangean decomposition for risk averse in multistage stochastic optimization. *Computers & Operations Research*, 85:154-171, 2017.
- A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, M. Guignard, A. Weintraub. Risk management for forestry planning under uncertainty in demands and prices. *European Journal of Operational Research*, 267: 1051-1074, 2018.
- L.F. Escudero, M.A. Garin, J.F. Monge, A. Unzueta. On preparedness resource allocation planning for natural disaster relief under endogenous uncertainty with time-consistent risk-averse management. *Computers & Operations Research*, 88: 84-102, 2018.
- L.F. Escudero, M.A. Garin, C. Pizarro, A. Unzueta. On efficient matheuristic algorithms for Multi-period Stochastic Facility Location-assignment Problems. *Computational Optimization and Applications*, 70: 865-888, 2018.
- L. Cadarso, L.F. Escudero, A. Marin. On strategic multistage operational two-stage stochastic 0-1 optimization for the Rapid Transit Network Design problem. *European Journal of Operational Research*, 271:577-593, 2018.
- L.F. Escudero, J.F. Monge, D. Romero-Morales. On the time-consistent stochastic dominance risk averse measure for tactical supply chain planning under uncertainty. *Computers & Operations Research*, 100:270-286, 2018.
- L.F. Escudero, J.F. Monge. On capacity expansion planning under strategic and operational uncertainties based on stochastic dominance risk averse management. *Computational Management Science*, 15:479-500, 2018.
- S. Baptista, A.P. Barbosa-Povoa, L.F. Escudero, M.I. Gomes, C. Pizarro. On risk management for a two-stage stochastic mixed 0-1 model for designing and operation planning of a closed-loop supply chain. *European Journal of Operational Research*, doi:10.10126/j.ejor.2018-09-041, 2018.

- L.F. Escudero, M.A. Garin, J.F. Monge, A. Unzueta. On multistage stochastic mixed 0-1 bilinear optimization based on endogenous uncertainty and time consistent stochastic dominance risk management. Under review.
- A. Alonso-Ayuso, L.F. Escudero, M. Guignard, A. Weintraub. A model for combining strategic and tactical decision levels forestry management under uncertainty. Under review.
- S. Baptista, L.F. Escudero, J.F. Monge. Forest fire management under uncertainty. On a scenario multistage multiperiod graph based stochastic mixed 0-1 optimization approach. Work-in-progress.
- L. Cadarso, L.F. Escudero, A. Marin. On strategic multistage operational two-stage stochastic 0-1 optimization for the Rapid Transit Network Design (RTND) problem. Risk averse management. Work-in-progress.
- L.F. Escudero, J.F. Monge and A. Rodriguez-Chia. On pricing for network expansion planning. A multistage bilevel approach under uncertainty. Work-in-progress.
- A. Corberan, L.F. Escudero, J.F. Monge, J.J. Peiro, F. Saldanha-da-Gama. A Nested Stochastic Decomposition matheuristic for multistage stochastic capacitated multiple allocation hub location expansion planning. Work-in-progress.