Aplicaciones de Investigación Operativa a problemas del mundo real

Guillermo Durán

CONICET / Instituto de Cálculo y Departamento de Matemática, FCEN, Universidad de Buenos Aires
Departamento de Ingeniería Industrial, FCFM, Universidad de Chile
http://mate.dm.uba.ar/∼gduran/

Marzo 2019

Quiénes somos?

- Académicos locales
  - Flavia Bonomo (UBA)
  - Diego Delle Donne (UNGS)
  - Ivo Koch (UNGS)
  - Min Chih Lin (UBA)
  - Javier Marenco (UBA y UNGS)
  - Graciela Nasini (UNR)
  - Saveli Vassilev (UBA)
  - Manuela Cerdeiro (UBA)
  - Andrés Farall (UBA)

Quiénes somos?

- Académicos extranjeros
  - Alejandro Cataldo (PUC, Chile)
  - Cristián Cortés (U. de Chile, Chile)
  - Rafael Epstein (U. de Chile, Chile)
  - Mario Guajardo (NHH, Noruega)
  - Abilio Lucena (UFRJ, Brasil)
  - Jaime Miranda (U. de Chile, Chile)
  - Pablo Pinto (University of Houston, USA)
  - Pablo Rey (UTEM, Chile)
  - Denis Sauré (U. de Chile, Chile)
  - Nicolás Stier (Facebook, USA)
  - Andrés Weintraub (U. de Chile, Chile)
  - Gonzalo Zamorano (U. de Chile, Chile)

Quiénes somos?

- Tesistas y becarios locales
  - Luciano Brugola (UBA)
  - Andrés Cardemil (UBA)
  - Joaqun Del Priore (UBA)
  - Valeria Di Tomaso (UBA)
  - Santiago Durán (UBA)
  - Nazareno Faillace Mullen (UBA)
  - Florencia Fernández (UBA)
  - Florencia Fernndez Slezak (UBA)
  - Carlo Ferrari (UBA)
  - Emmanuel Ferreyra (UBA)
  - Mauro Giormenti (UBA)
  - Facundo Gutiérrez (UBA)
  - Alexis Jawtuschenko (UBA)
  - Fedrico Larumbe (UBA)
  - Agustina López (UBA)
  - Federico Mascialino (UBA)
  - Ivn Monardo (UBA)
  - Eduardo Romero (FAMAF)
  - Daniela Sabán (UBA)
  - Vanesa Vansteenkiste (UNR)
  - Francisco Wesner (UBA)

Quiénes somos?

- Tesistas y becarios extranjeros
  - Fernando Alarcón (U. de Chile, Chile)
  - Fernanda Bravo (U. de Chile, Chile)
  - Sebastián Cea (U. de Chile, Chile)
  - Francisco Cisternas (U. de Chile)
  - Sebastián Concha (U. de Chile, Chile)
  - Diego Morán (U. de Chile, Chile)
  - Christián Polgatiz (U. de Chile, Chile)
  - Gonzalo Romero (U. de Chile, Chile)
  - Joaquín Siebert (U. de Chile, Chile)
  - Matías Siebert (U. de Chile, Chile)
  - Sebastián Souyris (U. de Chile, Chile)
  - Juan Ignacio Villasante (U. de Chile, Chile)
  - Rodrigo Wolf (U. de Chile, Chile)
  - Patricio Wolff (U. de Chile, Chile)

Por qué trabajar en Aplicaciones desde la academia?

- Consideramos que la Universidad pública debe estar vinculada con el medio externo, trabajando en la resolución de problemas del mundo real.
- En nuestro caso, la Investigación Operativa es una disciplina que puede aportar mucho en este sentido.
- La IO consiste en el desarrollo de métodos y algoritmos capaces de analizar simultáneamente miles de variables y escenarios posibles, a fin de decidir políticas óptimas para un problema dado.

Por qué trabajar en Aplicaciones desde la academia?

- Algunas de las posibles aplicaciones de la IO en las que hemos trabajado se encuadran en: problemas de logística y transporte, planificación de la producción, distribución eficiente de recursos humanos, diseño de redes, planificación de horarios, diseño de fixtures deportivos, gestión de licitaciones.
- Es importante aclarar que no pretendemos transformarnos en una consultora ni competir con ellas: somos parte de la Universidad pública y como tal, nos interesa aportar a la solución de problemas del mundo real que además presenten desafíos académicos concretos.
- Esto permitirá que se generen nuevos proyectos de investigación, se publiquen nuevos trabajos, surjan nuevos temas de tesis, etc., es decir, el mundo de las aplicaciones retroalimentando a la investigación académica y viceversa.

Por qué trabajar en Aplicaciones desde la academia?

- Nuestros grupos cuentan con experiencia en proyectos de estas características, vinculados con el Estado, con el sector privado y con organizaciones sin fines de lucro.
- Presentamos a continuación algunos de los proyectos desarrollados en los últimos años con los grupos de Investigación de Operaciones de la Universidad de Buenos Aires y la Universidad de Chile.

Segmentación en censos masivos

- Optimización combinatoria para la segmentación automática de viviendas para censistas en la Provincia de Buenos Aires en el Censo Nacional 2010.
- Resumen: Desarrollo de un algoritmo de optimización combinatoria para la asignación de viviendas a censistas, siguiendo las pautas dadas por el manual de procedimientos para la realización de censos de la Provincia de Buenos Aires. Dicha asignación fue utilizada satisfactoriamente durante el Censo Nacional realizado el 27 de Octubre de 2010. Trabajo realizado en conjunto con la consultora Impronta IT S.A.
- Trabajo publicado: F. Bonomo, D. Delle Donne, G. Durán, J. Marenco, "Automatic Dwelling Segmentation of Buenos Aires Province for the 2010 Argentinian Census", Interfaces 43 (4), 2013, 373-384.

Optimización de la recolección de residuos

- Planificación de la recolección de residuos en contenedores en la zona sur de la Ciudad de Buenos Aires.
- Resumen: El objetivo fue estudiar la recolección de contenedores de residuos en la zona sur de la ciudad. El trabajo consistió en proponer algoritmos de ruteo de cada camión recolector. Se desarrolló un programa que permite resolver todas las instancias del problema. Los resultados mostraron importantes ahorros en la distancia de los itinerarios y en el trabajo realizado por los camiones, que se calcula como el producto de la distancia recorrida por el peso transportado.
- Trabajo publicado: F. Bonomo, G. Durán, F. Larumbe, J. Marenco, "A Method for Optimizing Waste Collection Using Mathematical Programming: A Buenos Aires Case Study", Waste Management & Research 30 (3) (2012), 311-324.

Optimización de la recolección de residuos

- Esta experiencia la hemos extendido a otros 5 municipios del país (Morón, Salta, Tucumán, Bariloche, Concordia). De acuerdo a la problemática de cada municipio, el enfoque matemático de cada problema puede ser bien diferente.
- Otro trabajo publicado: G. Braier, G. Durán, J. Marenco, F. Wesner, "An integer programming approach to a real-world recyclable waste collection problem in Argentina", Waste Management & Research 35 (5) (2017), 525-533.
- Durante 2018 trabajamos con la municipalidad de Trenque Lauquen (provincia de Buenos Aires) para organizar la asignación de barrenderos en el municipio y la recolección de las hojas a través del ruteo de los camiones recolectores (trabajo conjunto con Valeria Di Tomaso y Diego Delle Donne).

Logística en una empresa salmonera

- Optimización del uso de redes de cultivo de salmones en agua-mar.
- Resumen: El presente trabajo presenta la creación de una herramienta basada en un modelo de programación lineal entera para optimizar el uso de recursos, mejorar la planificación y realizar evaluaciones económicas que faciliten la toma de decisiones con respecto a la mantención de redes de cultivo de salmones en agua-mar. El prototipo fue testeado en una de las principales empresas de la industria. Los resultados obtenidos logran reducir los costos de mantención de las redes alrededor de un 18% y generan también diversos beneficios cualitativos.
- Artículo: F. Cisternas, D. Delle Donne, G. Durán, C. Polgatiz and A. Weintraub, "Optimizing Salmon Farm Cage Net Use", Journal of Operations Research Society 64 (2013), 735-747.

Ruteo de barcos para un proveedor de alimentos para salmones

- Programación Eficiente de Ruteo Marítimo para una Empresa Proveedora de Alimento para Salmones.
- Resumen: El objetivo de este trabajo fue desarrollar un sistema para la programación de despachos marítimos en una empresa proveedora de alimento para salmones que opera en el sur de Chile. El problema enfrentado es uno de ruteo de buques con flota heterogénea, ventanas de tiempo blandas, restricciones de accesibilidad y precedencia, en el que además es necesario decidir cuánto entregar a cada cliente, sujeto a un porcentaje mínimo de su pedido original. Se generan soluciones mediante un enfoque heurístico (GRASP).
- Artículo: G. Romero, G. Durán, J. Marenco and A. Weintraub, "Efficient Ship Routing and Scheduling for a Salmon Feed Supplier", International Transactions in Operational Research 20(6), 2013, 767-794.

Planificación de la cadena productiva de una empresa salmonera

- Modelos matemáticos para optimizar la planificación de la producción en una empresa salmonera
- Resumen: La planificación en la cadena productiva del salmón se estructura en dos grandes etapas de cultivo, agua dulce y agua mar. Presentamos dos modelos de programación lineal entera mixta, que cumplen con restricciones de carácter biológico, económico y sanitario de cada etapa, Estos modelos propician la integración de la planificación en la cadena productiva del salmón, incorporando los requerimientos entre las unidades administrativas para que éstas planifiquen sus operaciones en forma más coordinada.
- Artículo: F. Bravo, G. Durán, A. Lucena, J. Marenco, D. Morán and A. Weintraub, "Mathematical Models for Optimizing Production Chain Planning in Salmon Farming", International Transactions in Operational Research 20 (5) (2013), 731-766.

Ruteo de barcos y camiones en una empresa salmonera

- Programación Matemática para la logística marítima y terrestre de una empresa salmonera de Chile
- Resumen: En la etapa de engorda en agua mar los salmones son cultivados en grandes jaulas flotantes agrupadas en centros de cultivo. Llegado el momento de la cosecha, los peces deben ser transportados en barcos desde los centros de cultivo hasta centros de acopio, ubicados junto a plantas de proceso primarias. En estas plantas se realiza la matanza y limpieza de los peces, siendo éstos luego cargados en camiones y enviados hacia las plantas de proceso secundarias. Estas plantas representan el final de la cadena de proceso y en ellas se obtiene el producto final. Implementamos una heurística para la planificación de esta logística marítima y terrestre, combinada con la planificación del stock en las jaulas en los centros de acopio. Esta herramienta está siendo utilizada actualmente con sumo éxito en una de las principales empresas salmoneras de Chile.

Ruteo de barcos y camiones en una empresa salmonera

- Artículo: D. Delle Donne, G. Durán, G. Fuentes, J. Marenco, J. Villasante, A. Weintraub, "A Mathematical Programming Approach to the Maritime and Land Transport Logistics of a Chilean Salmon Farmer", en preparación.

Planificación de la producción de una planta de proceso de salmones mediante Programación Lineal Entera

- Resumen: El trabajo se enfoca en la última etapa del proceso productivo de una empresa salmonera en Chile: la elaboración del producto terminado. Esta etapa es de gran importancia para la empresa porque aquí es donde se le da el valor a la materia prima (salmones puestos en acopio), al escoger qué productos se elaboran con ella y hacia qué mercados se exportan. El problema es abordado mediante una herramienta computacional que ejecuta un modelo de programacion lineal entera que maximiza el beneficio económico, satisfaciendo una serie de restricciones propias de la industria.

Aplicaciones en Deportes

- Diseño de los fixtures del fútbol en Chile.
- Resumen: Modelos matemáticos para el fútbol chileno con el objetivo de programar la Primera División, a partir de 2005, la Segunda División, a partir de 2007, y la Tercera División, a partir de 2013. Trabajo finalista en 2016 del premio Franz Edelman, el principal concurso de la Investigación Operativa a nivel mundial, organizado por INFORMS la Sociedad Estadounidense de OR y Management Science (Orlando 2016).

Aplicaciones en Deportes

Trabajos publicados sobre diseño de los fixtures del fútbol en Chile:

- F. Alarcon, G. Durán, M. Guajardo, et al, "Operations Research Transforms Scheduling of Chilean Soccer Leagues and South American World Cup Qualifiers", Interfaces 47 (1) (2017), 52-69.
- G. Durán, M. Guajardo and R. Wolf-Yadlin, "Operations Research Techniques for Scheduling Chile's Second Division Soccer League", Interfaces 42 (3) (2012), 273-285.
- G. Durán, J. Miranda, M. Guajardo, D. Sauré, S. Souyris, A. Weintraub and R. Wolf, "Scheduling the Chilean Soccer League by Integer Programming", Interfaces 37 (2007), 539-552.
- T. Noronha, C. Ribeiro, G. Durán, S. Souyris and A. Weintraub, "A branch-and-cut algorithm for scheduling the highly-constrained Chilean soccer tournament", Lecture Notes in Computer Science 3867 (2007), 174-186.

Aplicaciones en Deportes

- Un modelo matemático para la asignación de árbitros en el fútbol chileno.
- Resumen: En este trabajo se estudia el problema de asignación de árbitros para el campeonato de la Primera División del fútbol chileno, abordado mediante un modelo de optimización lineal entera. El modelo logra capturar criterios que otorgan transparencia y objetividad a la asignación, por ejemplo, balanceando la cantidad de partidos dirigidos por cada árbitro y sus distancias de viaje, y tomando en cuenta su categoría para arbitrar partidos especiales.
- Trabajo publicado: F. Alarcón, G. Durán, and M. Guajardo, "Referee Assignment in the Chilean Football League using Integer Programming and Patterns", International Transactions in Operational Research 21(3), 2014, 415-438.

Aplicaciones en Deportes

- Diseño del fixture de la liga de primera división de vóley masculino argentino.
- Resumen: La liga está conformada por 12 equipos y consta de una fase regular seguida de playoffs. En la fase regular se enfrentan todos los equipos entre sí, en condición de local y visitante. Una característica de esta liga es que los equipos se agrupan en parejas, que se enfrentan entre sí en pares de fechas consecutivas durante cada fin de semana. Este proyecto para la Asociación de Clubes Liga Argentina de Vóleibol consiste en la optimización del fixture para minimizar las distancias totales de viaje de los equipos en la liga. El fixture generado se utiliza satisfactoriamente desde 2007.
- Trabajo publicado: F. Bonomo, A. Cardemil, G. Durán, J. Marenco, D. Sabán, "An application of the traveling tournament problem: The Argentine volleyball league", Interfaces 42 (3) (2012), 245-259.

Aplicaciones en Deportes

- Diseño de los fixtures de la Primera y Segunda División del básquet argentino.
- Resumen: La Primera División (Liga Nacional) del básquet de Argentina está conformada por 20 equipos y consta de una fase regular dividida en una fase regional (2 Conferencias de 10 equipos) y una nacional, seguida de playoffs para definir al campeón. Tanto en la fase regional como en la nacional se enfrentan todos los equipos entre sí, en condición de local y visitante. A diferencia de lo que ocurre en el vóley, los equipos no están agrupados en parejas y los partidos no sólo se disputan los fines de semana. Este formato se asemeja al que utiliza la NBA de los Estados Unidos y ha sido propuesto por nosotros para ser empleado en la Argentina.

Aplicaciones en Deportes

- El proyecto para la Asociación de Clubes de Básquet de la Argentina consiste en la programación del fixture que minimice las distancias totales de viajes, organizando giras de visitante de 2, 3 o 4 partidos, de acuerdo a lo solicitado por cada equipo. El fixture generado por nuestro grupo ha sido utilizado las últimas 4 temporadas de manera exitosa (se reportan ahorros en viajes de más del 30%). Una programación similar ha sido preparada para la Segunda División y para la Liga Femenina.
- El proyecto se ha extendido a la asignación eficiente de árbitros, en Primera y Segunda División.
- Artículo: G. Durán, S. Durán, J. Marenco, F. Mascialino, P. Rey, "Scheduling Argentina's Professional Basketball Leagues: A Variation on the Relaxed Traveling Tournament Problem", enviado a publicación.

Aplicaciones en Deportes

- Diseño del fixture de la Eliminatoria Sudamericana para Rusia 2018.
- Resumen: Implemantación de modelos de programación entera para el diseño del fixture de la Eliminatoria Sudamericana para el Mundial de fútbol de Rusia 2018, recientemente finalizada. Después de muchos años se decidió modificar el fixture de esta Eliminatoria y nuestra propuesta fue aprobada de manera unánime por la Confederación Sudamericana de Fútbol (CONMEBOL).
- Artículo: G. Durán, M. Guajardo and D. Sauré, "Scheduling the South American Qualifiers to the 2018 FIFA World Cup by Integer Programming", enviado a European Journal of Operations Research 262 (3) (2017), 1109-1115.

Aplicaciones en Deportes

- Un análisis cuantitativo del ranking FIFA y del sorteo del Mundial de Fútbol
- Resumen: Analizamos el procedimiento usado por la FIFA para hacer el ranking de las selecciones de fútbol y para definir el sorteo de los grupos en la Copa del Mundo. Se calibra un modelo predictivo para diseñar un ranking de referencia que permite evaluar la performance de una serie de cambios simples al procedimiento actual. A continuación se analiza el uso del ranking FIFA para determinar los grupos de la fase final de la Copa del Mundo. Después de enumerar una serie de deficiencias en la asignacin de grupos para la Copa Mundial de Brasil 2014, un MILP model es implementado para balancear los niveles de dificultad de cada grupo.
- Artículo: S. Cea, G. Durán, M. Guajardo, D. Sauré, J. Siebert and G. Zamorano, "An Analytics Approach to the FIFA Ranking Procedure and the World Cup Final Draw", enviado a Annals of Operations Research (2017).

Aplicaciones en Deportes

- 301060: Un sitio de predicciones deportivas.
- El sitio 301060.exactas.uba.ar nació para el Mundial de Fútbol de Rusia 2018 con el objetivo de poner en marcha modelos estadísticos que, tomando como insumo la historia reciente de las selecciones participantes del Mundial, pudieran predecir las probabilidades de los resultados de cada partido.
- Dados esos cálculos, se simula el torneo millones de veces para aproximar probabilidades de los posibles resultados parciales o finales del torneo.
- Actualmente hemos extendido el modelo a la Superliga Argentina de Fútbol.
- Trabajo conjunto con F. Bertero, F. Bonomo, A. Cataldo, M. Lin, I. Monardo, P. Rey y S. Vassiliev.

Aplicaciones en Deportes

- Extensiones al fútbol de Argentina y Ecuador.
- Implementación de modelos de programación lineal entera para el fixture de la Superliga Argentina de Fútbol en la temporada 2018-2019 y la asignación de los días y horarios del mismo torneo profesional en dicha temporada (trabajos conjuntos con M. Guajardo, F. Gutiérrez y G. Zamorano).
- Programación de los torneos de divisiones inferiores para 2018, también a través de la implementación de modelos de programación lineal entera (trabajo conjunto con M. Guajardo, A. López y G. Zamorano).
- Implementación de modelos de programación lineal entera para el fixture del fútbol de Ecuador en su Primera y Segunda División para la temporada 2019 (trabajo conjunto con M. Guajardo y G. Zamorano).

Licitaciones combinatorias

- Diseño de la licitación y de un modelo de programación matemática para organizar la provisión de Internet para las escuelas públicas de la Ciudad de Buenos Aires.
- Resumen: Trabajamos en el diseño del tipo de licitación y en la implementación de un modelo matemático para determinar la mejor combinación de ofertas en dicha licitación, llevada a cabo por el gobierno de la Ciudad de Buenos Aires para proveer de Internet a todas las escuelas públicas de la Ciudad. Nuestra propuesta fue utilizada en la licitación realizada en 2008.
- Artículo: F. Bonomo, J. Catalán, G. Durán, R. Epstein, M. Guajardo, A. Jawtuschenko, J. Marenco, "An Asymmetric Multi-Item Auction with Quantity Discounts Applied to Internet Service Procurement in Buenos Aires Public Schools", Annals of Operations Research 258 (2) (2017), 569-585.

Licitaciones combinatorias

- Métodos cuantitativos para el rediseño de unidades territoriales en una licitación de comedores escolares en Chile.
- Resumen: Desarrollo de modelos matemáticos para un rediseño eficiente de unidades territoriales en la Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas (JUNAEB), a los efectos de la realización de las licitaciones anuales de los comedores escolares de Chile. La propuesta desarrollada en este trabajo fue utilizada por JUNAEB a partir de 2008. Trabajo finalista en el concurso a la mejor aplicación de OR, organizado por la Sociedad Europea de Investigacón Operativa (Lisboa 2010).
- Artículo: G. Durán, R. Epstein, C. Martinez and G. Zamorano, "Quantitative Methods for a New Configuration of Territorial Units in a Chilean Government Agency Tender Process", Interfaces 41 (3) (2011), 263-277.

Simulación para el mejoramiento urbano

- Dos proyectos que consisten en el desarrollo de herramientas de simulación para el mejoramiento urbano en municipios de la Provincia de Buenos Aires.
- El primero de ellos definió recomendaciones para ordenar el tránsito pesado en el municipio de La Matanza, el más grande de la Provincia (proyecto conjunto entre la FCEN y el Municipio).
- El segundo de ellos consiste en estudiar una mejora urbanística para las primeras cuadras de Mitre y Belgrano, en el municipio de Avellaneda, reordenando paradas de colectivos, kioscos de diarios, etc. (proyecto conjunto entre la FCEN, la UNDAV y el Municipio).

Aplicación en Educación

- Programación Matemática para seleccionar aspirantes en un posgrado de la Universidad de Chile, usando criterios de discriminación positiva.
- Resumen: Desarrollo de modelos de programación matemática para aplicar criterios de equidad de género, regionales y socio-económicos en la selección de aspirantes para el Magister en Gestión para la Globalización de la Universidad de Chile. El trabajo fue realizado desde 2007 hasta 2011 de manera ininterrumpida.
- Artículo: G. Durán and R. Wolf Yadlin, "A mathematical programming approach to applicant selection for a degree program based on affirmative action", Interfaces 41 (3) (2011), 278-288.

Seguridad aeroportuaria

- Un modelo de Stackelberg para patrullas móviles en el Aeropuerto de Ezeiza
- Resumen: Se implement un modelo de Stackelberg para optimizar el patrullaje de las áreas públicas del Aeropuerto de Ezeiza, mediante el uso de Programación Lineal Entera. El modelo dividió el Aeropuerto en 3 áreas independientes, las cuales a su vez son divididas en 5 o 6 zonas. El número de policías disponibles para patrullar cada área en cada momento del día es un dato provisto por el Director de Seguridad Aeroportaria. El modelo determina la ubicación de cada policía en cada momento, basado en el "valor" que tiene localizar a un agente en un determinado lugar. Esos valores son establecidos usando datos estadísticos de delitos y movimiento de público. La herramienta fue implementada en Ezeiza en 2015 (trabajo conjunto con C. Ferrari, E. Ferreyra, I. Koch and F. Ordoñez).

Aplicación a Ciencias Políticas

- Mejoras en el acceso a la votación en Argentina.
- Resumen: Usando modelos analíticos cuantificamos los costos que enfrentan los votantes, medidos en términos de la distancia a su lugar de votación y el tiempo de espera para efectuar el voto. Para estimar los parámetros del modelo, usamos datos reales de las elecciones de medio-término en la ciudad de Buenos Aires en 2013. Las asignaciones que propone nuestro modelo reducen en promedio los tiempos de votación en un 27% con respecto a la ineficiente asignación actual, realizada por orden alfabético.
- Artículo: G. Durán, M. Giormenti, M. Guajardo, P. Pinto, P. Rey and N. Stier-Moses, "Improving access to voting with optimized matchings", Electoral Studies 51 (2018), 38-48.