



Investigación operativa y optimización

Andrés Ramos

Universidad Pontificia Comillas

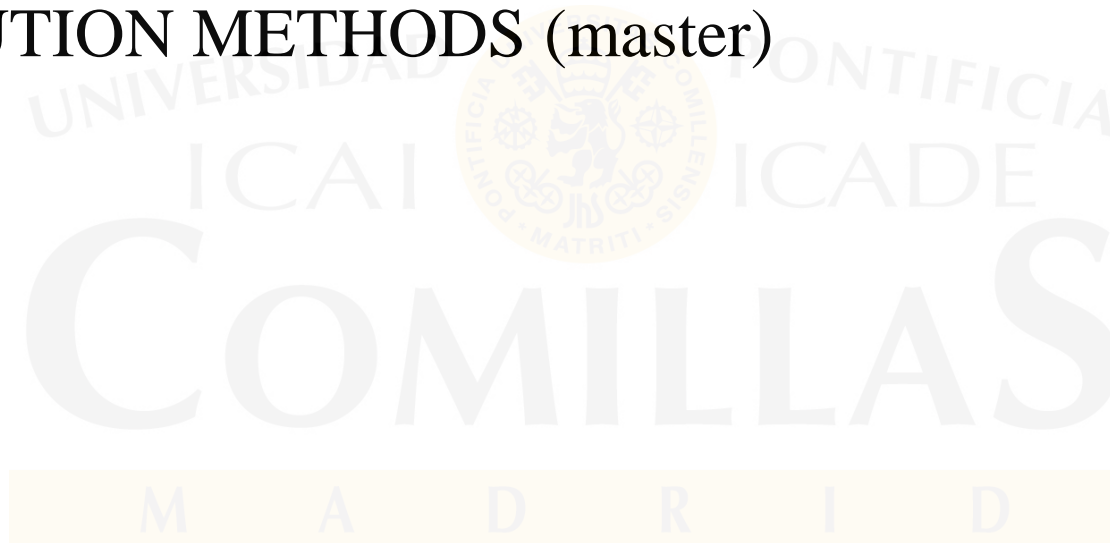
<http://www.iit.comillas.edu/aramos/>

Andres.Ramos@comillas.edu

CONTENIDO

➤ INTRODUCCIÓN

- OPTIMIZACIÓN
- SOLUTION METHODS (master)



Definición de la Investigación Operativa (IO)

- Aplicación de **métodos científicos analíticos avanzados** en la mejora de la efectividad en las operaciones, decisiones y gestión de una empresa:
 - Diseño y mejora de las operaciones y decisiones
 - Resolución de problemas y ayuda en las funciones de gestión, planificación o predicción
 - Aportan conocimiento y ayuda en la toma de decisiones
- **Tareas:**
 - recoger y analizar datos
 - desarrollar y probar modelos matemáticos
 - proponer soluciones o recomendaciones
 - interpretar la información
 - ayudar a implantar acciones de mejora
- **Resultados:** aplicaciones informáticas, sistemas, servicios o productos.

En resumen

- La ciencia para mejorar (*the science of better*)
- Modelos de apoyo a la toma de decisiones
- Métodos analíticos avanzados



Skills for analytics

- 1. Framing the problem and getting to the solution*
- 2. Data preparation*
- 3. Data presentation*
- 4. Control of operations*
- 5. Statistics, probability, forecasting*
- 6. Optimization, simulation, queuing models, decision analysis*
- 7. Enabling organizations to act intelligently*

Framing the problem and getting to the solution

- **Understanding the business issues and business/organizational concerns** using formal modeling processes that address purpose and environment and end-to-end capabilities and processes. This allows the analyst to understand the domain to frame problems and identify solutions.
- **Frame and structure problems in terms of objectives, constraints, risks and courses of action** to set the stage for meaningful results. Effective selection of a problem statement sets up the solution to align with the organizational structure, systems and culture; poor problem structures often lead to blind alleys during analysis or execution.
- **Project management** and exposure to the foundational principles of managing people, politics, products and processes.
- **Communication skills, methods and technologies that enable effective collaboration** throughout the project cycle, from effective information-gathering to collaborative decision support and change management

Enabling organizations to act intelligently

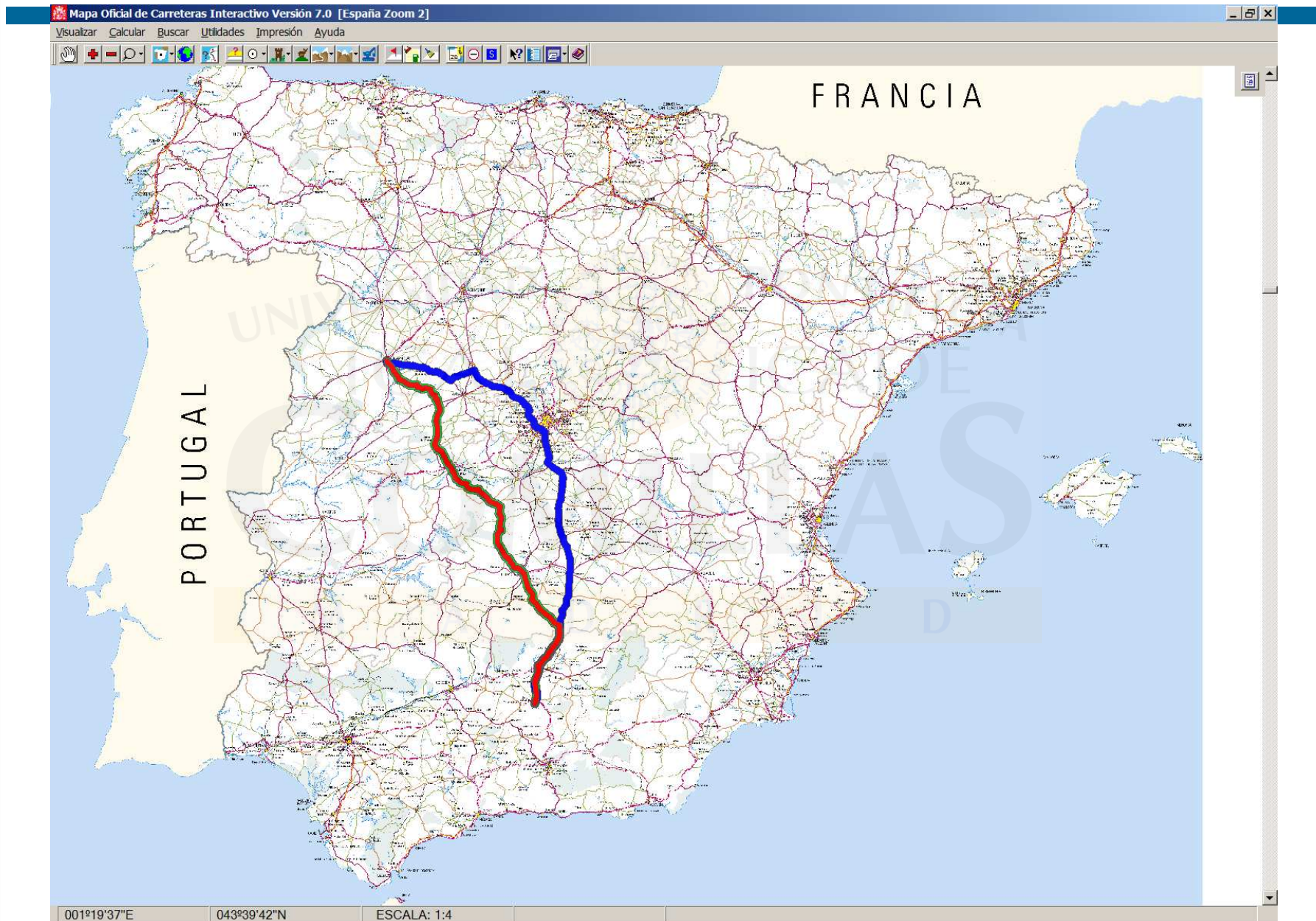
- **Design and governance of metrics portfolios to drive system-wide performance improvements;** this addresses the problem of figuring out which metrics are important and how to set targets and thresholds that address business needs.
- **Driving decisions from analysis:** helping decision-makers to use data-driven analyses effectively, often in conjunction with gut-feel or anecdotal methods.
- **Design and operation of analytics teams** and organizations in the context of business and IT functions.

Conviértete en un profesional mejor, superior y diferente.

Javier Sánchez Álvarez. Ed. Debolsillo

- ¿Quiere usted montar un floristería? **Haga números**
- ¿Quiere usted montar una máquina para mejorar el proceso productivo? **Haga números**
- ¿Quiere usted lanzar un nuevo producto? **Haga números**
- ¿Quiere usted invertir en el proceso logístico? **Haga números**
- ¿Quiere usted establecer el precio o los descuentos de algo? **Haga números**
- ¿Quiere usted definir cuántos empleados necesita para un propósito? **Haga números**
- ¿Está pensando en ampliar su mercado? **Haga números**
- ¿Pretende llevar su empresa a otro país? **Haga números**
- ¿Y después de este país a otro? **Haga números**
- ¿Diversificar? **Haga números**
- ¿Invertir en nuevas tecnologías? **Haga números**
- ¿Cambiar el logo o el plan de comunicación corporativa? **Haga números**
- ¿Proyectar la visión de su empresa a cinco años? **Haga números**

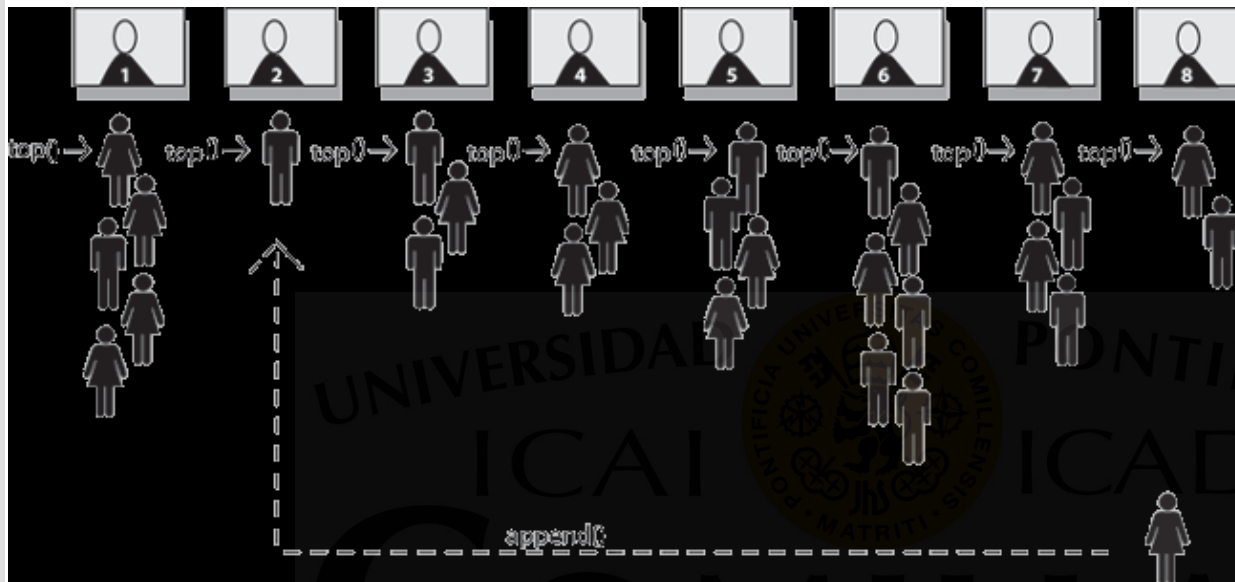
Problema de camino mínimo



Cola para sacar entradas

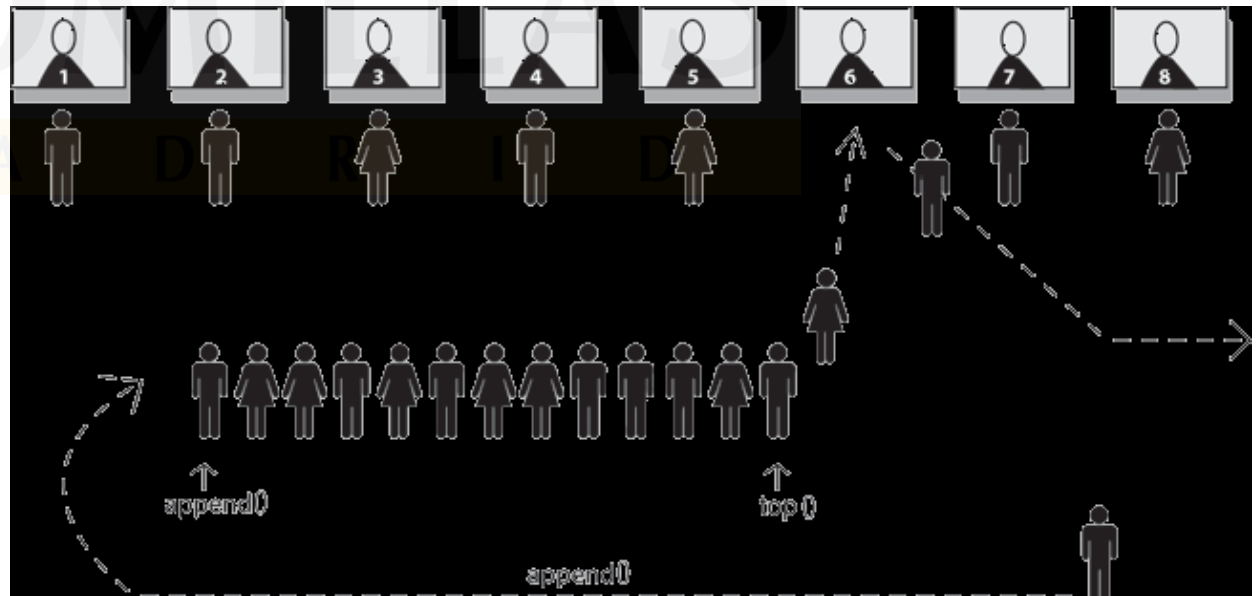


¿Qué sistema de colas es más efectivo?



- 8 colas
- 8 servidores

- 1 cola
- 8 servidores



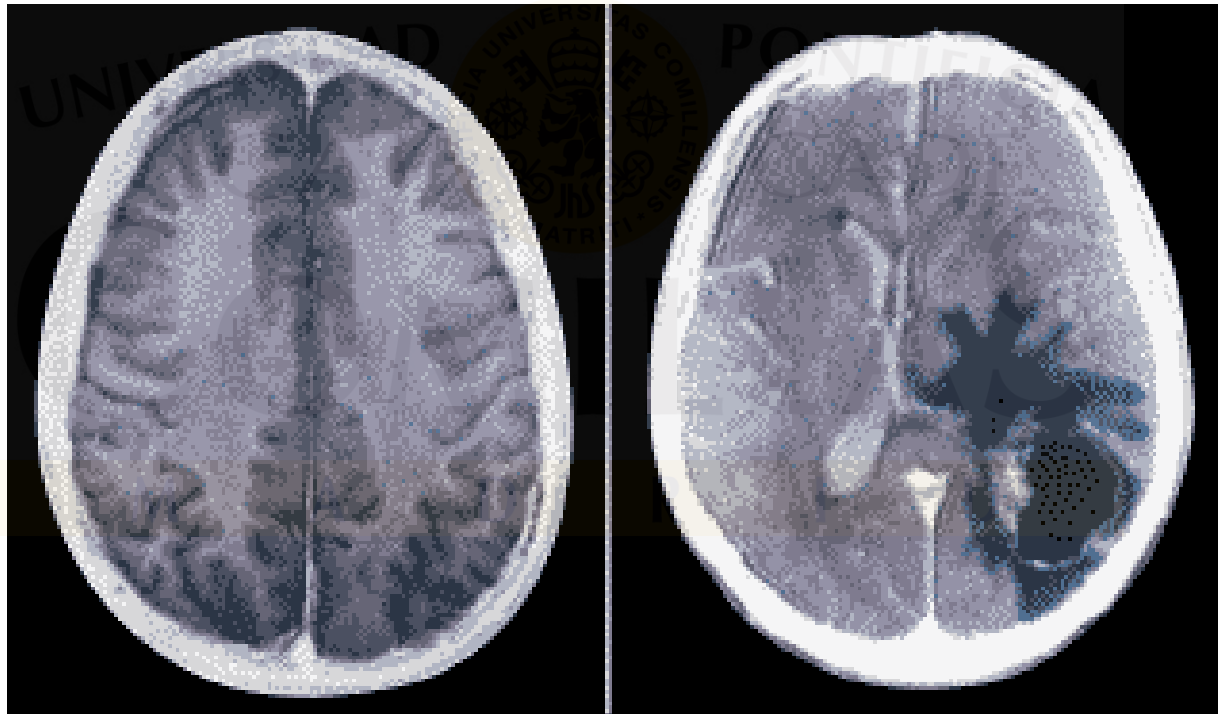
Línea de ensamblaje de coches

- ¿Cómo soldar los cordones de soldadura en un tiempo mínimo?



Tratamiento de cáncer de cerebro

- ¿Dónde aplicar radioterapia para maximizar el impacto en células cancerígenas y minimizar el daño a otras células?



iMetro: Subway best route calculator (<http://www.iit.comillas.edu/imetro/>)



Parking place demand and offer assignment

- (<http://www.iit.comillas.edu/~aramos/papers/Parking%20place%20demand%20and%20offer%20assignment.pdf>)

tuplaza
la web del aparcamiento compartido

Recordarme ¿has olvidado tu contraseña? regístrate
Correo Electrónico Iniciar sesión

Busca una plaza compartida en tu ciudad

Introduce aquí la dirección

Comparte tu plaza de garaje
únete a la mayor red de aparcamiento compartido

Mapa Satélite Híbrido Relieve

Tuplaza © 2008-2010 INICIO OBSERVATORIO DE MOVILIDAD AVISO LEGAL SOBRE NOSOTROS CONTACTAR AYUDA PRIVACIDAD

Train timetabling. EcoDriving

- A. Ramos, M.T. Peña, A. Fernández, P. Cucala *Mathematical programming approach to underground timetabling problem for maximizing time synchronization* Revista de Dirección, Organización y Administración de Empresas CEPADE 35: 88-95 Junio 2008 (<http://www.revistadyo.com/index.php/dyo/article/view/60/60>)

http://www.antena3.com/noticias/economia/madrid-presenta-metrolinera-estacion-carga-coches-electricos-que-aprovecha-frenada-metro_2014031400210.html



Programación diaria de la generación

- S. Cerisola, A. Baillo, J.M. Fernandez-Lopez, A. Ramos, R. Gollmer *Stochastic Power Generation Unit Commitment in Electricity Markets: A Novel Formulation and A Comparison of Solution Methods* Operations Research 57 (1): 32-46 Jan-Feb 2009 (<http://or.journal.informs.org/cgi/content/abstract/57/1/32>)



Off-shore wind farm electric design

- S. Lumbreras and A. Ramos *Optimal Design of the Electrical Layout of an Offshore Wind Farm: a Comprehensive and Efficient Approach Applying Decomposition Strategies* IEEE Transactions on Power Systems (accepted)
[10.1109/TPWRS.2012.2204906](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2012.2204906)
- S. Lumbreras and A. Ramos *Offshore Wind Farm Electrical Design: A Perspective* Wind Energy [10.1002/we.1498](https://doi.org/10.1002/we.1498)
- M. Banzo and A. Ramos *Stochastic Optimization Model for Electric Power System Planning of Offshore Wind Farms* IEEE Transactions on Power Systems 26 (3): 1338-1348 Aug 2011 [10.1109/TPWRS.2010.2075944](https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2075944)



Casos de estudio de optimización

- Ayuda humanitaria
- Logística empresarial
- Sector del transporte
- Transporte aéreo
- Transporte espacial
- Transporte por metro
- Servicio de correos
- Suministro de agua
- Centro de llamadas
- Comercio electrónico
- Producción
- Sector bancario
- Sector de Administración pública
- Sector energético
- Sector eléctrico
- Sector sanitario
- Sector ganadero
- Gestión de proyectos
- Medios audiovisuales
- Ocio y deporte
- Docencia

www.iit.comillas.edu/aramos/simio/apuntes/a_casos.pdf

Casos de optimización propuestos por estudiantes

- Paso del ecuador: optimizar las acciones para obtener dinero para el viaje.
- Método del camino crítico: minimizar el tiempo de duración de un proyecto.
- Optimizar el tiempo libre: minimizar el esfuerzo necesitado para pasar los exámenes de las asignaturas.
- Vehículo de asistencia mecánica: optimizar las alternativas de distribución de la tracción en el rally Dakar.
- Secuenciación de tareas: programación de tareas para minimizar el tiempo de realización.
- Programación de la producción de una central de bombeo y un molino de viento: operación combinada del bombeo de agua y de la producción eólica para maximizar la producción

¿Qué optimizamos hoy?

- *Life itself is a matter of OR*



Historia de la IO (www.iit.comillas.edu/~aramos/timeline.pdf)

- **Orígenes** en el comienzo de la Segunda Guerra Mundial (debido a urgente asignación de recursos escasos en las *operaciones* militares, en problemas tácticos y estratégicos). Estas mismas técnicas se aplicaron después a las empresas.
- **Progreso** algorítmico inicial muy rápido (muchas técnicas – LP, DP– son anteriores a 1960).
 - Teoría de juegos: von Neumann y Morgenstern 1944
 - Método Simplex: Dantzig 1947
 - Principio de optimalidad: Bellman 1957
- Relación constante con el avance de los ordenadores. **Hoy en día** es posible resolver un problema LP de 1.000.000 ecuaciones con 1.000.000 variables en un PC.

Penúltima década en la optimización (década de 1990)

- “In the last decade, new advances in algorithms have been as important as the impressive advances in computer technology” George L. Nemhauser (1994)
- “The technology improvements in algorithms, modeling languages, software, and hardware have made the methodology accessible, easy to use, and fast. So the Age of Optimization has arrived” George L. Nemhauser (1994)

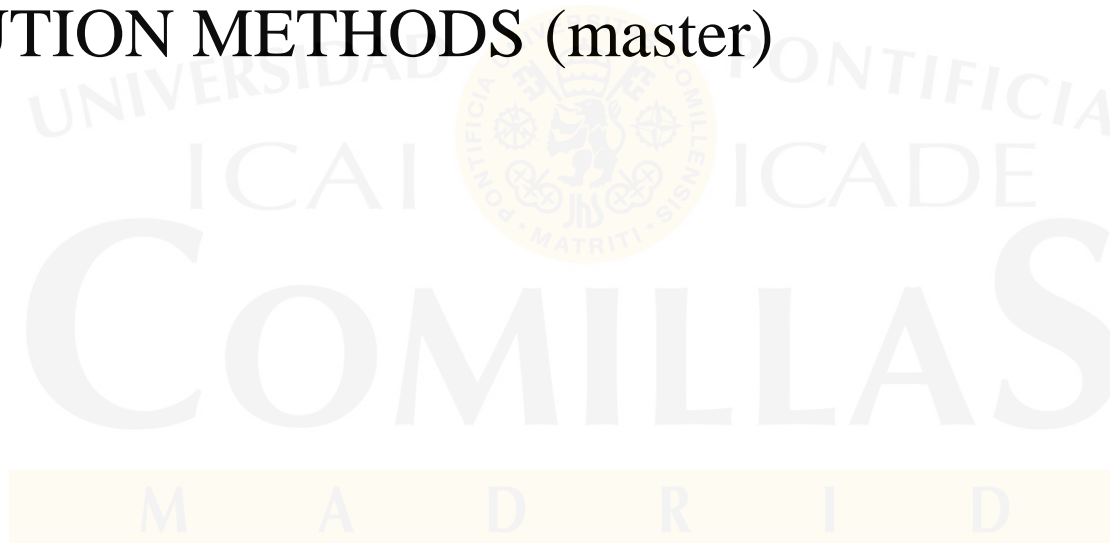
Avances algorítmicos

- Desde **CPLEX 1.0** en **1988** a **CPLEX 9** en **2004** la mejora total (algoritmos e implantación) ha sido de **3300 veces** en el optimizador LP. Como referencia, la mejora en rendimiento del **hardware** ha sido de **1600 veces** en el mismo periodo
- Entre la versión de **CPLEX 1.2** de **1991** y **CPLEX 11** del **2007** la mejora total (algoritmos e implantación) ha sido de **28000 veces** en el optimizador MIP

Hoy se pueden resolver en segundos lo que hace una docena de años se habría resuelto en años.

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- OPTIMIZACIÓN
- SOLUTION METHODS (master)



¿Qué es la optimización?

- Encontrar el valor que deben tomar las *variables* para hacer óptima la *función objetivo* satisfaciendo el conjunto de *restricciones*.



Componentes de un problema de optimización

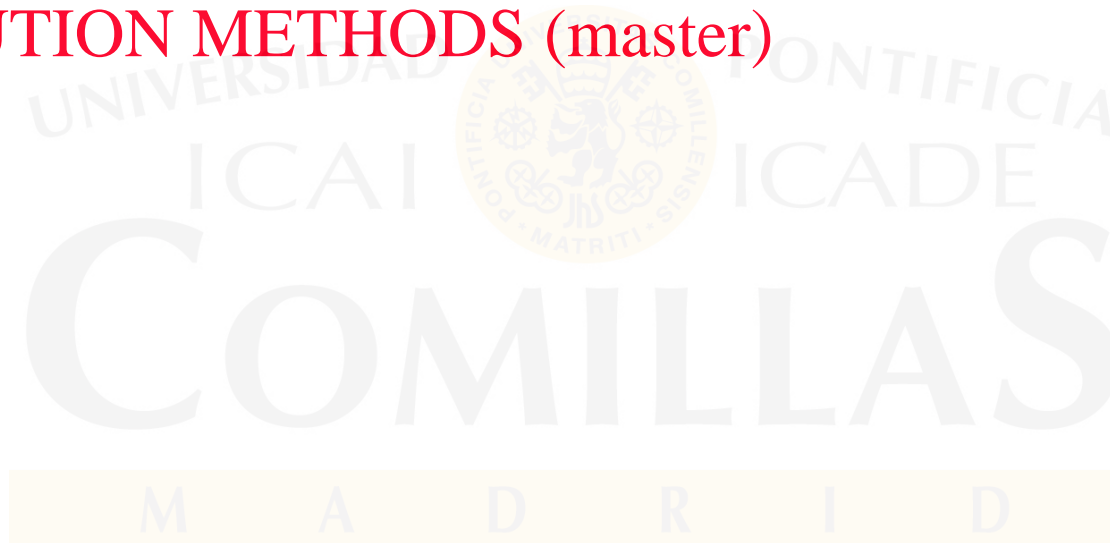
- *Función objetivo*
 - Medida cuantitativa del funcionamiento (de la bondad) de un sistema que se desea maximizar o minimizar
- *Variables*
 - Decisiones que afectan el valor de la función objetivo
- *Restricciones*
 - Conjunto de relaciones que las variables están obligadas a satisfacer

Casos particulares

- Múltiples funciones objetivo **Optimización multicriterio**
 - no hay coincidencia del óptimo para los diferentes objetivos
 - Optimización multiobjetivo
 - Métodos satisfacientes
- No existe función objetivo
 - sistema de ecuaciones (no) lineales
 - encontrar una solución factible
- No existen restricciones **Optimización sin restricciones**
 - determinar el mínimo de un función
 - aproximación de mínimos cuadrados

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- OPTIMIZACIÓN
- **SOLUTION METHODS (master)**



Optimización clásica vs. Metaheurística (i)

Métodos clásicos

- Programación lineal
- Programación lineal entera mixta
- Programación cuadrática
- Programación no lineal
- Optimización estocástica
- Programación dinámica
- Teoría de grafos u optimización en redes

Métodos metaheurísticos (Inteligencia Artificial)

- Algoritmos evolutivos (genéticos)
- Recocido o templado simulado (*simulated annealing*)
- Búsquedas tabú, aleatoria, avariciosa, dispersa (*scatter search*)
- Enjambre de partículas (*particle swarm*).
- Sistemas multiagente (colonias de hormigas)

Otros métodos de optimización

Métodos híbridos

- Programación de restricciones

Otros métodos clásicos de decisión

- Teoría de la decisión
- Teoría de juegos

Otros métodos

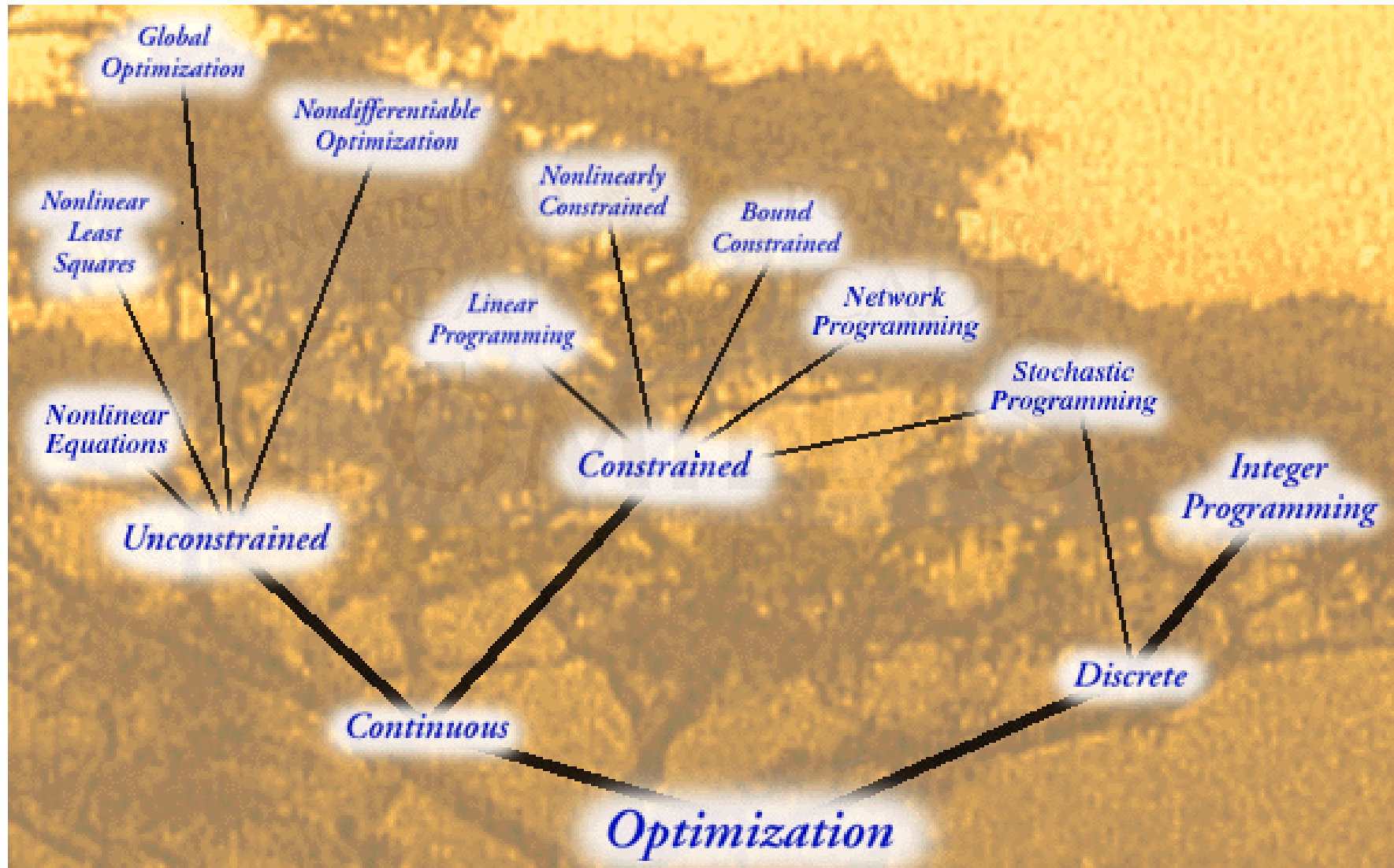
- Teoría de conjuntos borrosos
- Optimización global
- Optimización combinatorial

Clasificación de modelos

- Atendiendo a la función objetivo
 - Lineal, cuadrático, no lineal, no suave
- Atendiendo a las restricciones
 - Sin restricciones, acotadas, lineales, no lineales, no suaves
- Atendiendo a las variables
 - Continuas, discretas, estocásticas

NEOS Guide Optimization Tree

<http://neos-guide.org/optimization-tree>

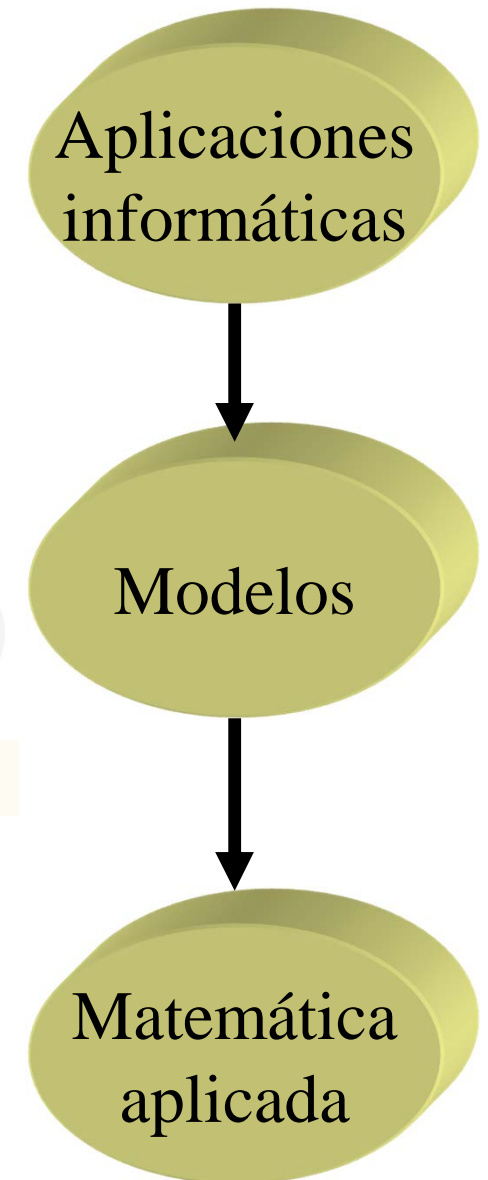


Optimización clásica vs. Metaheurística (ii)

- Métodos clásicos
 - buscan el óptimo “localmente”
 - garantizan el óptimo numérico
 - permiten un elevado número de restricciones
- Métodos metaheurísticos
 - Imitan fenómenos sencillos observados en la naturaleza
 - “globales”, mecanismos específicos para evitar óptimos locales
 - NO garantizan la obtención del óptimo. Permiten la obtención de múltiples subóptimos
 - NO permiten elevado número de restricciones
 - exploran gran número de soluciones en tiempo muy corto
 - aplicados principalmente a problemas combinatoriales

Optimización sí, pero qué

- **Modelar**
 - el optimizador es casi superfluo, es estándar
- **Seleccionar** el método de optimización
 - aplicación de un método conocido en otro contexto
- **Implantar y mejorar** un método
 - mejorar un método de descomposición para subproblemas con variables enteras
- **Desarrollar** un nuevo método
 - método de punto interior para NLP



Métodos clásicos

- LP (*linear programming*)
- MIP (*mixed integer programming*)
- NLP (*non linear programming*)
- QP (*quadratic programming*)
- DP (*dynamic programming*)
- NF (*network flow*)

Programación lineal (LP) (i)

$$\min_x c^T x$$

$$Ax = b$$

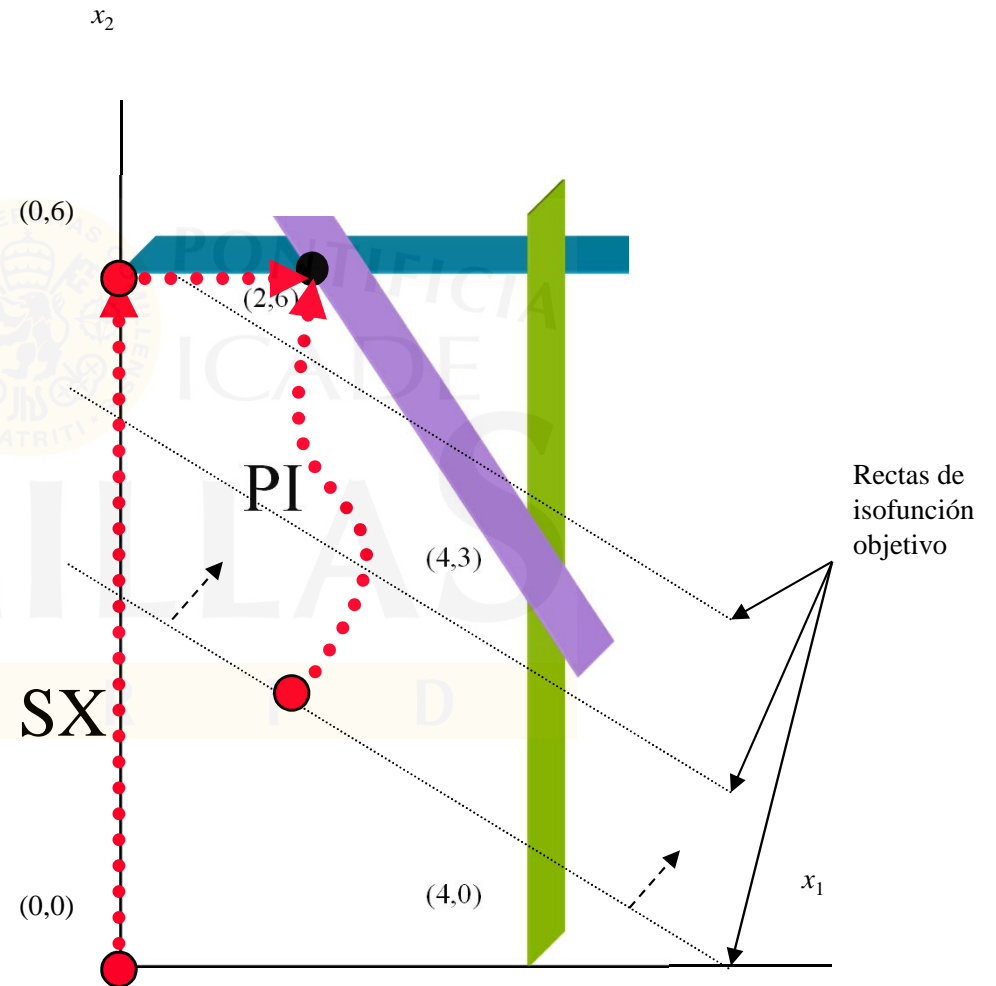
$$x \geq 0$$

$$x \in \mathbb{R}^n, c \in \mathbb{R}^n, A \in \mathbb{R}^{m \times n}, b \in \mathbb{R}^m$$

- Método **simplex** primal y dual
- Método de **punto interior** (primal-dual, proyectivo, escalado afín)

Programación lineal (LP) (ii)

$$\begin{aligned} \max \quad & z = 3x_1 + 5x_2 \\ & x_1 \leq 4 \\ & 2x_2 \leq 12 \\ & 3x_1 + 2x_2 \leq 18 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$



¿Qué método usar?

- Método **simplex primal o dual**
 - Problemas de mediano tamaño (hasta 100000×100000)
 - Análisis de sensibilidad o método de ramificación y acotamiento (B&B)
 - Tiempo de ejecución depende del cubo del número de restricciones
- Método de **punto interior**
 - Problemas de gran tamaño
 - Tiempo de ejecución depende casi linealmente del número de elementos no nulos de la matriz de restricciones

Programación lineal entera mixta (MIP) (i)

$$\min_x c^T x + d^T y$$

$$Ax + By = b$$

$$x, y \geq 0$$

$$x \in \mathbb{Z}^n, y \in \mathbb{R}^l, c \in \mathbb{R}^n, d \in \mathbb{R}^l$$

$$A \in \mathbb{R}^{m \times n}, B \in \mathbb{R}^{m \times l}, b \in \mathbb{R}^m$$

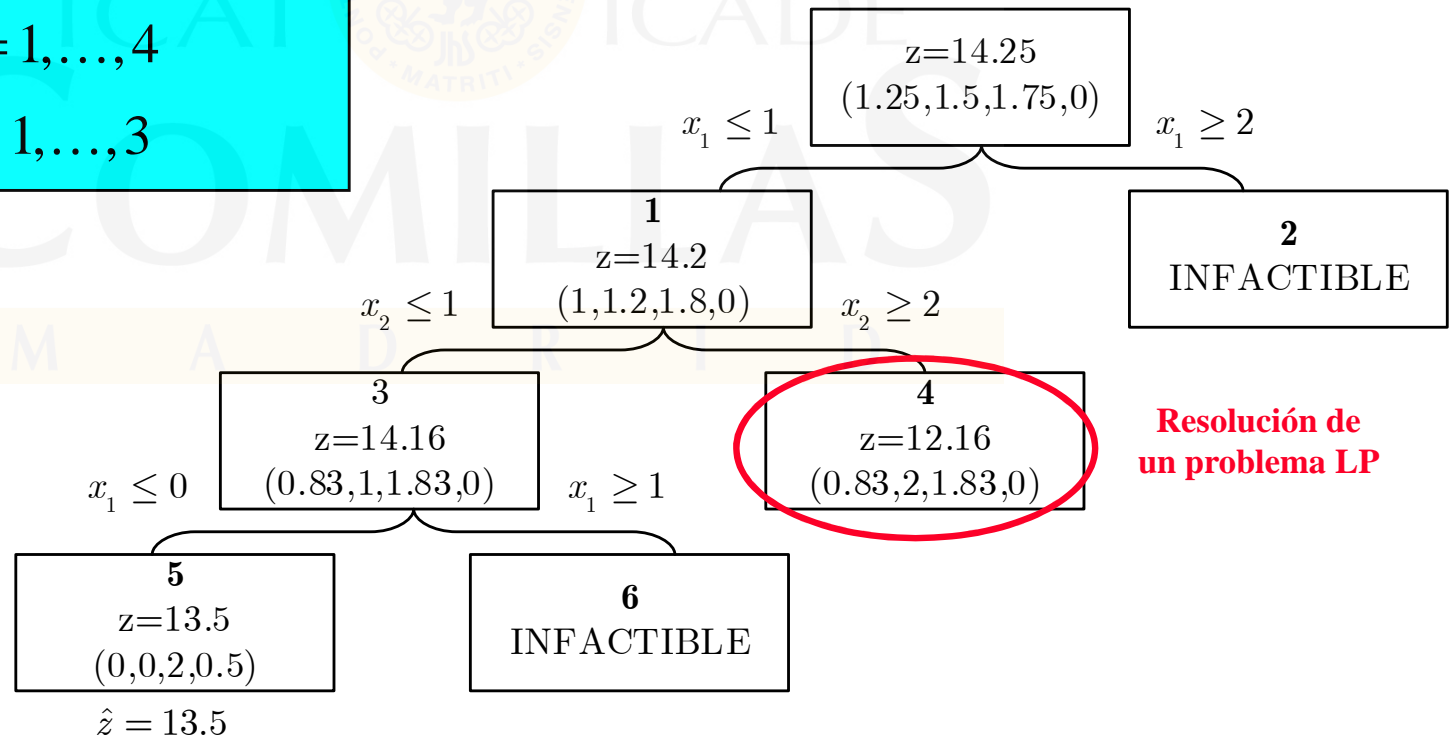
- Método de ramificación y acotamiento (*branch and bound*)
- Método de ramificación y corte (*branch and cut*)

Programación lineal entera mixta (MIP) (ii)

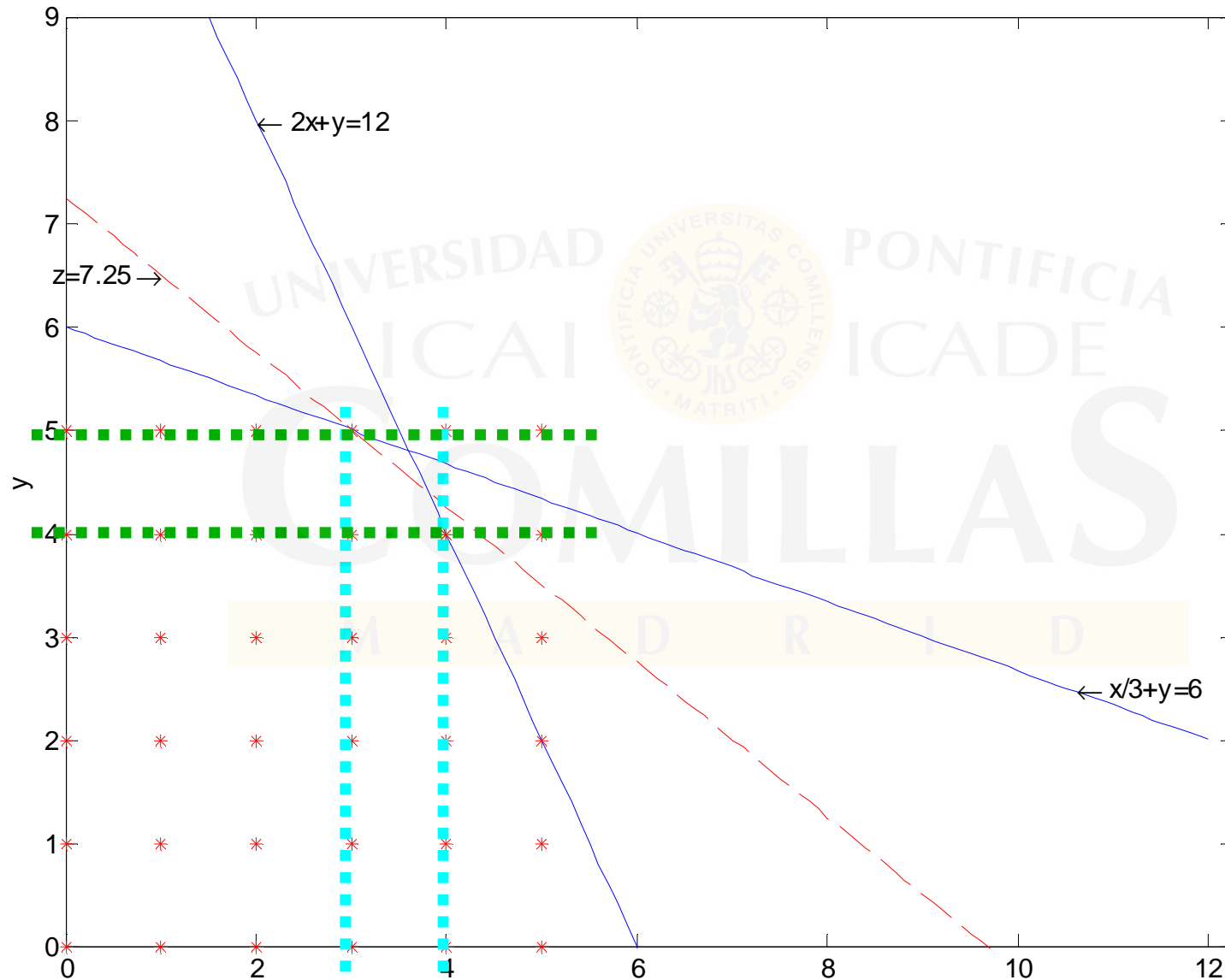
$$\begin{aligned} \max \quad & Z = 4x_1 - 2x_2 + 7x_3 - x_4 \\ & x_1 \quad \quad +5x_3 \quad \leq 10 \\ & x_1 \quad +x_2 \quad -x_3 \quad \leq 1 \\ & 6x_1 \quad -5x_2 \quad \leq 0 \\ & -x_1 \quad \quad +2x_3 \quad -2x_4 \leq 3 \\ & x_j \geq 0 \quad \quad j = 1, \dots, 4 \\ & x_j \text{ enteras} \quad j = 1, \dots, 3 \end{aligned}$$

$$Z^* = 13.5$$

$$(x_1, x_2, x_3, x_4) = (0, 0, 2, 0.5)$$



Programación lineal entera mixta (MIP) (iii)



$$\max_{x,y} z = \frac{3}{4}x + y$$

$$\frac{x}{3} + y \leq 6 \quad : \pi_1$$

$$2x + y \leq 12 \quad : \pi_2$$

x, y enteras

$$(x, y) = (3, 5)$$

$$(\pi_1, \pi_2) = (2.25, 0)$$

Programación no lineal (NLP)

- Sin restricciones
 - No requieren derivadas
 - Métodos de **coordenadas cíclicas**, **Hooke & Jeeves** y **Nelder & Mead**
 - Requieren primeras derivadas
 - Métodos de **máximo descenso**, **gradiente conjugado**
 - Requieren segundas derivadas
 - Métodos de **Newton** y **cuasi-Newton**
- Con restricciones
 - Métodos factibles
 - Método del **gradiente**, **Newton** y **cuasi-Newton reducido**
 - **Programación cuadrática secuencial**
 - Métodos de penalización
 - Métodos de **penalización** y **barrera**
 - Método del **lagrangiano aumentado**

$$\begin{aligned} \min_x f(x) \\ g(x) = 0 \\ h(x) \leq 0 \\ l \leq x \leq u \\ f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R} \\ g, h : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m \end{aligned}$$

Técnicas utilizadas en NLP

- Métodos **factibles**
 - Aproximación de funciones mediante el desarrollo en serie de Taylor (lineal o cuadrática, primeras o segundas derivadas)
 - Detención cuando se verifica que primera derivada es 0
- Métodos de **penalización**
 - Resuelven secuencias de problemas de optimización sin restricciones
 - Método de penalización
 - Penaliza la violación de las restricciones
 - Método barrera
 - Evitan que se alcance el contorno de la restricción

Método de Newton para función unidimensional (i)

$$f(x) = (x-1)^3 + 2(x-1)^2 + 3$$

$$f'(x) = 3(x-1)^2 + 4(x-1)$$

$$f''(x) = 6(x-1) + 4$$

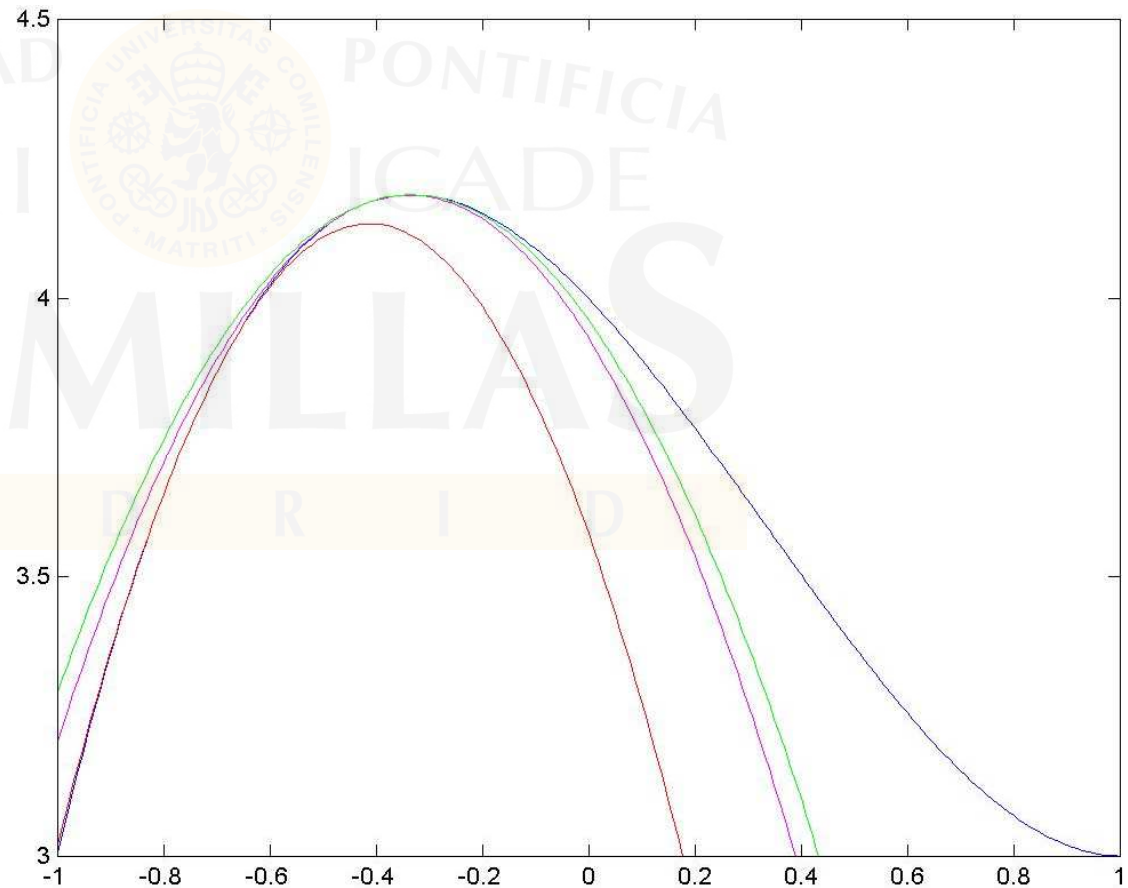
Secuencia de puntos

$$x_0 = -0.75$$

$$x_1 = x_0 - \frac{f'(x_0)}{f''(x_0)} = -0.4135$$

$$x_1 = -0.3376$$

$$x_1 = -0.3333$$



Programación cuadrática (QP)

$$\min_x c^T x + \frac{1}{2} x^T Q x$$

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

$$x \in \mathbb{R}^n, c \in \mathbb{R}^n, A \in \mathbb{R}^{m \times n}$$

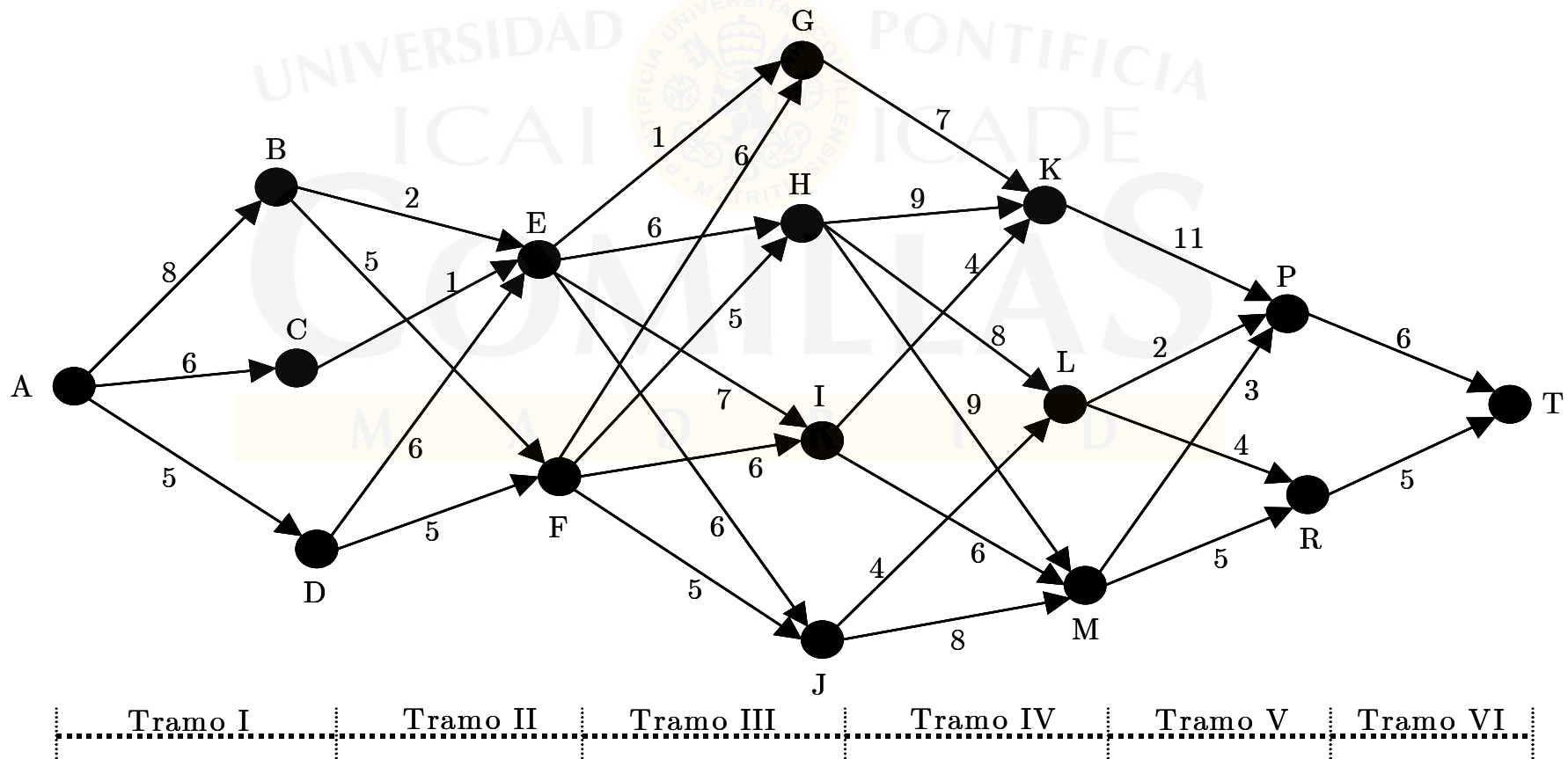
$$Q \in \mathbb{R}^{n \times n}, b \in \mathbb{R}^m$$

Ventaja

el hessiano es constante, la aproximación por segundas derivadas es exacta

Programación dinámica (DP) (i)

- Técnica matemática orientada a la solución de problemas con decisiones en **etapas sucesivas** (espaciales o temporales) donde se debe minimizar el coste total de dichas decisiones



Programación dinámica (DP) (ii)

- En cada etapa se toma la decisión óptima para pasar de cualquier **estado** de una etapa a la etapa siguiente teniendo en cuenta costes actuales y costes futuros
- Cada estado guarda toda la información necesaria para tomar las decisiones futuras sin necesidad de conocer cómo se ha alcanzado dicho estado.
- Es un **procedimiento recursivo** que resuelve de manera iterativa, incorporando cada vez una etapa, partes cada vez mayores del problema original. Puede resolverse **hacia delante** o **hacia atrás**.

$$\min_{u_k} J = \sum_{k=0}^N f_k(x_k, u_k)$$

$$x_{k+1} = \phi_k(x_k, u_k)$$

$$g_{k,i_k}(x_k, u_k) = 0$$

$$x_k \in X_k, u_k \in U_k$$

Teoría de grafos u optimización en redes

- **Camino mínimo:** encontrar la distancia mínima entre un origen y un destino a través de una red conexa no dirigida conociendo la distancia entre cada pareja de nodos
- **Árbol generador mínimo:** encontrar la cadena de longitud mínima que recorre todos los nodos sin ciclos
- **Flujo máximo:** dada una red conexa dirigida con arcos con capacidad limitada encontrar el flujo máximo que puede enviarse de un origen a un destino
- **Problema de transporte/transbordo o de flujo de coste mínimo:** minimizar el coste de transportar un producto desde diferentes orígenes a diferentes destinos dado el coste unitario de transporte entre cada origen y cada destino, la capacidad máxima de cada origen y la demanda de cada destino
- **Problema de asignación de tareas:** minimizar el coste total de realizar las tareas sabiendo que cada persona realiza 1 tarea y cada tarea es realizada por 1 persona dado el coste de asignación de cada tarea a cada persona

Métodos metaheurísticos

- GA (*genetic algorithms*)
- TS (*tabu search*)
- SA (*simulated annealing*)
- SS (*scatter search*)
- CE (*cross entropy*)
- PS (*particle swarm*)
- ACO (*ant colony optimization*)
- VNS (*variable neighborhood search*)

Algoritmos genéticos (i)

- **Idea:** en la naturaleza sobreviven los mejores
- Proceso de **selección** en función de la medida de calidad (función de bondad o de adaptación *fitness*) de la solución que debe incluir la violación de restricciones. Proceso de **recombinación** para buscar nuevas soluciones
- Combinan **búsqueda dirigida** y **estocástica**. Dos objetivos aparentemente contrapuestos: búsquedas de las mejores soluciones y exploración del espacio de estados
- **Dificultad:** codificación de las soluciones de manera que en el proceso de recombinación se obtengan soluciones esencialmente factibles.

Algoritmos genéticos (ii)

1. Iteración $i=0$
2. Sea una **población de soluciones** (cromosomas) para la iteración i , $P(i)$
3. **Evalúa** la población de soluciones $P(i)$
4. Mientras no se acabe, hacer lo siguiente:
 - Iteración $i+1$
 - Selecciona la población de soluciones de la iteración $i+1$ como los **mejores** de la iteración anterior
 - **Recombina**, es decir, cruza y muta soluciones aleatoriamente elegidas para obtener nuevas soluciones
 - **Cruce** (*crossover*): intercambio entre elementos (genes) de soluciones
 - **Mutación**: alteración aleatoria de un elemento (gen)
 - Evalúa la población de soluciones $P(i+1)$

Búsqueda tabú (*Tabu Search*)

- **Idea:** Trata de extraer información de lo sucedido (guarda memoria) y actuar en consecuencia.
- **Memoria de corto plazo:**
 - Se mueve iterativamente de una solución a otra en su entorno reducido. Entorno reducido = entorno – soluciones tabú
 - La lista de soluciones tabú **se ajusta dinámicamente**. Se define mediante **atributos** para evitar guardar las soluciones como tal. Soluciones tabú son las ya visitadas.
- **Memoria de largo plazo:**
 - Almacena frecuencias u ocurrencias de atributos en soluciones visitadas para identificar o diferenciar regiones. Dos estrategias de largo plazo:
 - **Intensificar:** buscar en regiones ya exploradas
 - **Diversificar:** visitar áreas no exploradas

Templado o recocido simulado (*Simulated Annealing*)

- **Idea:** basado en búsqueda local donde cada movimiento de mejora se acepta y se permiten movimientos de no mejora con cierta probabilidad (función directa de la temperatura del sistema). Se comienza con una temperatura alta.
- **Parámetros importantes:**
 - **Temperatura inicial alta:** fracción de movimientos aceptados T_0
 - **Longitud:** tamaño del entorno reducido
 - **Secuencia de enfriamiento exponencial** $T_k = T_0 e^{-\alpha k}$
 - **Probabilidad de aceptación** de una nueva solución
 Z y Z' funciones objetivo de una iteración y de la siguiente

$$p = \min \left[1, e^{\frac{Z-Z'}{T_k}} \right]$$

Enjambre de partículas (*Particle Swarm*)

- Basado en el concepto de inteligencia colectiva (*swarm intelligence*) con dos mecanismos
 - Influencia social
 - Aprendizaje social
- Necesita además de una estructura de comunicación (red social)
- Algoritmo
 - Obtención aleatoria de soluciones candidatas iniciales
 - Cada agente evalúa las soluciones candidatas y registra la mejor para él y dónde se ha producido
 - Se la comunica a sus vecinos y ven dónde éstos han tenido éxito
 - Se mueven en la dirección de éxito



Modelo y modelado

Andrés Ramos

Modelo

- Definición
 - Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja (por ejemplo, la evolución económica de un país), que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento. (Diccionario de la lengua española. Real Academia Española)
- Representación precisa de una realidad
- Herramienta de ayuda a la toma de decisiones
- Puede involucrar equipo multidisciplinar
- Equilibrio entre representación detallada y capacidad de obtener la solución
- *Modelador*: especifica y desarrolla el modelo
- *Experto*: conoce el problema real

Dos riesgos importantes

- **Modelado exhaustivo**, cuasi real. Puede ocasionar la carencia de un algoritmo que solucione el problema
- **Modelado simplista** para utilizar un algoritmo disponible. Pueden llegar a darse soluciones de un problema que no existe
- El modelado debe ser un **compromiso** entre ambos casos patológicos

Modelado

- Ciencia

- Análisis y detección de las relaciones entre datos
- Suposiciones y aproximaciones a los problemas
- Algoritmos específicos de solución
- Soluciones del modelo

- Arte

- Visión o interpretación de la realidad
- Estilo en modelo y documentación
- Elegancia y simplicidad en desarrollo
- Uso creativo de herramientas

Beneficios del modelado

- Diálogo entre modelador y experto
- Organiza información disponible
- Estructura la comprensión del comportamiento del sistema
- Internaliza estructura organizativa de empresa
- Permite compartir supuestos entre modelador y experto
- Proporciona una herramienta para el análisis
- Indica dirección de mejora en decisiones

Etapas en el desarrollo de un modelo

Identificación del problema

Especificación matemática y formulación

Resolución

Verificación, validación y refinamiento

Interpretación y análisis de resultados

Implantación, documentación y mantenimiento

Identificación del problema

- Recolección de información relevante
- Definición del problema en términos vagos
- Interpretación y traducción a términos precisos
- Datos son vitales, suelen ser cuello de botella
- Etapa fundamental para que decisiones sean útiles

Es imprescindible asegurarse de que el modelo representa adecuadamente la realidad que pretende reflejar.

Datos de entrada

- GIGOLO
- Garbage In, Garbage Out, Look Out !

El mejor modelo no sirve de nada si los datos de entrada no están adecuadamente refinados



Especificación matemática y formulación

- Definición de **variables**, **ecuaciones**, **función objetivo**, **parámetros**
- Identificación de **tipo de problema** (LP, MIP, NLP)
- Énfasis en **precisión y belleza** en la formulación
- Análisis de **tamaño y estructura** del problema
- Categorías de problemas LP según su tamaño

	Restricciones	Variables
• Caso ejemplo	100	100
• Tamaño medio	10000	10000
• Gran tamaño	500000	500000
• Muy gran tamaño	> 500000	> 500000

Diseño conceptual

- Al que tiene un martillo todo le parecen clavos.



La técnica de modelado, así como el nivel de detalle del mismo y en general cualquier aspecto de modelado debe adecuarse a la estructura del problema, a las expectativas y necesidades del cliente...

Modelo conceptual

- Un mes de programación puede “ahorrarte” un par de horas de biblioteca.

El tiempo de menos dedicado al modelo conceptual retrasa de forma exponencial la implantación del modelo.



Resolución

- Algoritmo de obtención de solución óptima, cuasióptima o, al menos, satisfactoria
- Detección de soluciones cuasióptimas atractivas
- Diferentes métodos de solución
- Diferentes implantaciones del algoritmo elegido

Verificación, validación y refinamiento

- Eliminación de errores en codificación
- Comprobar validez de simplificaciones adoptadas
- Comprobación de adaptación a la realidad
- Ampliación en el modelado por nuevas necesidades



Modelo: validación

- El pasado no es estocástico

El contraste de los resultados del modelo con datos reales del sistema es imprescindible.



Interpretación y análisis de resultados

- Análisis de sensibilidad en parámetros de entrada
- Robustez de la solución óptima



Implantación, documentación y mantenimiento

- Etapa fundamental para el éxito de un modelo
- Documentación clara, precisa y completa
- Manual de usuario con especificación técnica funcional, matemática e informática
- Formación de posibles usuarios

Programación lineal (*Linear Programming LP*)

- **Problema de la dieta**

Se ha determinado que las necesidades mínimas diarias en la alimentación de una ternera son 700 g de proteínas, 28 g de calcio y 150 mg de vitaminas. Los alimentos disponibles son pienso y forraje con un coste unitario de 0.30 y 0.35 €/kg respectivamente. La composición nutritiva por kg de alimento se muestra en la tabla de la derecha.

Se trata de determinar la cantidad diaria óptima de cada alimento para minimizar el coste total de la alimentación.

	Proteínas (g)	Calcio (g)	Vitaminas (mg)
Pienso	30	2	10
Forraje	45	1	5



Andrés Ramos

<http://www.iit.comillas.edu/aramos/>

Andres.Ramos@comillas.edu