PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

OPTIMOS: Optimización para la Movilidad Sostenible.

(MTM2006-14961-C05)

Quiénes somos

UPC	UV	ULL	UMu	URJC
Elena Fernández	Angel Corberán	Juan-José Salazar	Alfredo Marín	Antonio Alonso Ayuso
Maria Albareda Sambola Jaime Barceló Joaquín Bautista Julian Aráoz. (visitante UPC) Juan Antonio Díaz. UDLAP (Mx). Oscar Meza Houtteman USB (Ve)	Enrique Benavent Enrique Mota Isaac Plana José M. Sanchis	Inmaculada Rodríguez Jorge Riera Hipólito Hernández Carmen Elvira Ramos María Teresa Ramos Celina Pestano	Lázaro Cánovas Mercedes Landete	Cesar Beltrán. Marco Busatto Javier Cano. Emma Galindo. Ana García. Javier Martínez Moguerza Raquel Montes. Alberto Olivares. Mª Teresa Ortuño. Celeste Pizarro. Clara Simón de Blas Angel Udías.

Proyectos anteriores financiados por el Plan Nacional.

Un sistema de ayuda a la toma de decisiones en problemas de rutas de vehículos y localización de servicios

Coordinador
Angel Corberán (UV).

SADERYL: 6 Subproyectos (UV, ULL, UPC, URJC, UMU, UMH). (TIC2000-17500).

SADERYL2: 5 Subproyectos (UV, ULL, UPC, URJC, UMU) (TIC2003-05982)

Dónde estamos científicamente

Programa Nacional de Matemáticas **Línea temática 12: Investigación Operativa**.

12.1: “Programación matemática”;

12.2. “Modelos de investigación operativa deterministas y estocásticos”;

12.4 “Aplicaciones”: “tráfico”, “localización”, “gestión de la producción y la distribución”

- Problemas de Optimización (modelos de Programación Matemática):
  - Problemas de Programación Lineal Entera (PLE).
  - Problemas de optimización Combinatoria. Combinatoria Poliédrica.
  - Aplicación a problemas de **Localización de Servicios y de diseño de rutas de vehículos**. **Otras aplicaciones (logísticas, telecomunicaciones).**
  - Problemas de Programación Estocástica (normalmente con variables discretas).

Problemas de optimización en dominios discretos
(problemas de optimización no convexos, y no diferenciables)

- Modelos de Simulación dinámica de tráfico urbano
- Integración de simulación/optimización para aplicaciones de logística urbana (city logistics).

Problemas de rutas

Problemas en grafos en los que se desea identificar algún tipo de recorrido que satisfaga ciertas condiciones

Problema	Condiciones	Aplicaciones
Rutas por Nodos	Condiciones sobre los nodos	Recogida/distribución de mercancías.
Rutas por Arcos	Condiciones sobre los arcos	Mantenimiento de redes eléctricas y comunicación Limpieza y mantenimiento de carreteras Reparto/recogida de correo Recogida de residuos.

Antecedentes

Rutas por Arcos	**Euler 1736**	¿Es posible realizar un recorrido empezando por una cualquiera de las cuatro partes de tierra firme, cruzando cada puente una sola vez y volviendo al punto de partida?
	Guan 1962	Encontrar un circuito de coste mínimo que atraviese cada enlace de un grafo al menos una vez.
Rutas por Nodos	**Kirkman 1856**	Condiciones suficientes para la existencia de un ciclo que recorriese todos los vértices del grafo exactamente una vez
	Hamilton 1856	Diversos problemas de ciclos en grafos.
	Problema del viajante de comercio	Encontrar una ruta de mínima longitud que visite cada nodo de un grafo exactamente una vez

Optimización y Simulación en Gestión Dinámica de Flotas

Modelos de rutas de vehículos y secuenciación de flotas

Aplicaciones en logística urbana

Presencia de nuevas tecnologías da relevancia a aquellas en las que

Características de los clientes obligan a establecer ventanas de tiempo.

Situaciones en las que la programación y secuenciación de los vehículos ha de ser dinámica (información en tiempo real)

Simulación dinámica de tráfico que pueda dar respuesta a cambios de demanda, disponibilidad de vehículos, etc., teniendo en cuenta las variaciones temporales de las condiciones de tráfico en red viaria.

Problemas de localización

- Problema de optimización que se plantea cuando hay que encontrar la "mejor" ubicación unas facilidades que les darán un cierto servicio.

- Típicamente, existen unos clientes con una demanda de servicio, y posiblemente también habrá que establecer el patrón de asignación de clientes a las facilidades abiertas.

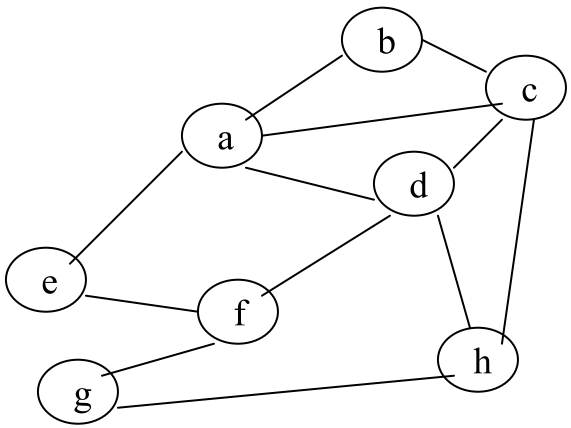
Espacio en el que se sitúan las facilidades		
Continuo	Red (Grafo)	**Discreto**

Aplicaciones: Servicios, telecomunicaciones, logísticas, etc.

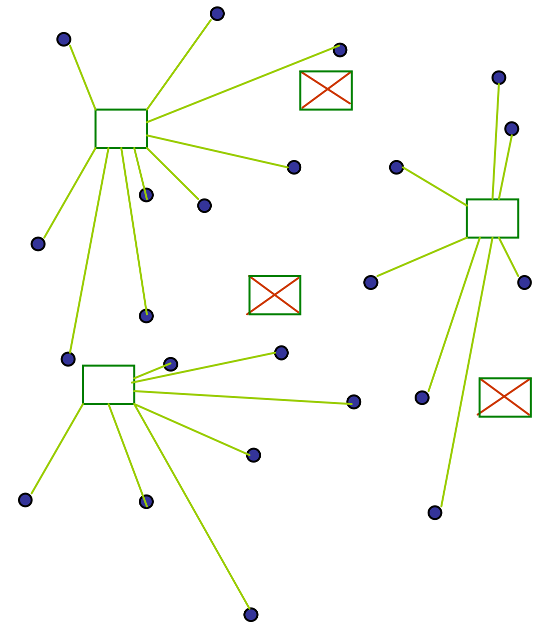
Antecedentes

Siglos XVII-XVIII	Fermat, Torricelli, Cavalliery, Simpson. Encontrar el punto del plano que minimiza la suma de las distancias a tres puntos dados.
A. Weber (1909)	Problema de la mediana: "identificar un punto del plano que minimice la suma (ponderada) de distancias a un conjunto dado de puntos".
L. Hakimi (1964)	Problema del centro: "identificar un punto del plano que minimice el máximo de las distancias (ponderadas) a los puntos de un conjunto dado"
Problema *p*-mediana	Dado un conjunto de puntos, identificar *p* puntos del plano tales que minimizan la suma (ponderada) de la distancia mínima de cada punto del conjunto a los *p* puntos
Problema *p*-centro	Dado un conjunto de puntos, identificar *p* puntos del plano que minimizan el máximo de la distancia mínima (ponderada) de cada punto del conjunto a los *p* puntos seleccionados.

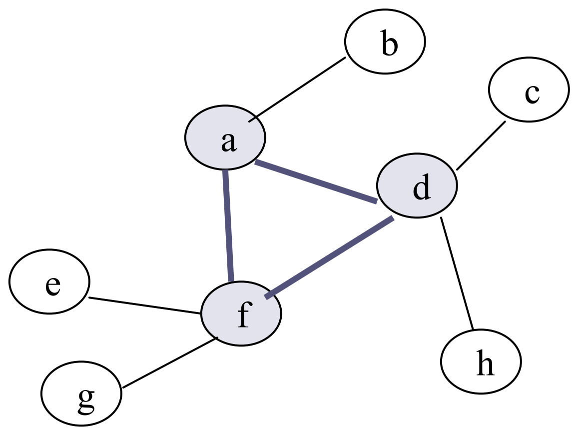
Problemas de localización en una red



Problemas discretos de localización



Problemas de localización de concentradores (hubs)



Problemas de Optimización Combinatoria

Formulados como problemas de Programación Lineal Entera

(normalmente con variables binarias)

⇩

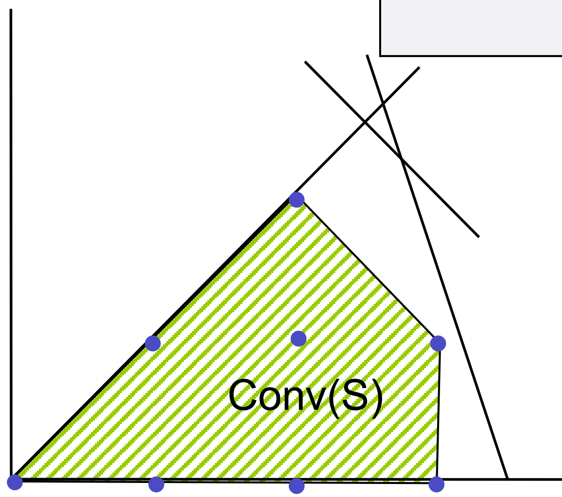
Combinatoria Poliédrica

Estudio de poliedros asociados a problemas de optimización combinatoria

Problemas de Optimización Combinatoria

Número finito de soluciones factibles

(del orden de 2^n)



Teorema de Minkowski-Weyl
(1896- 1949)

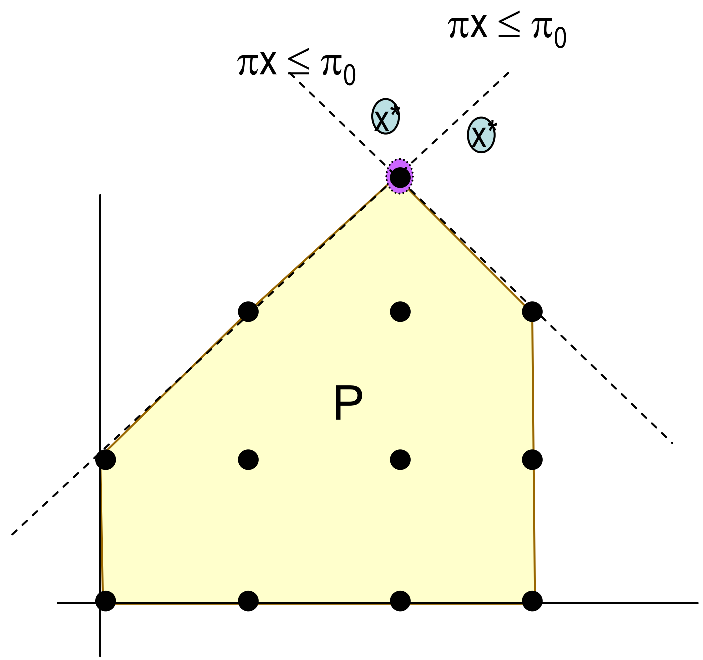
Equivalencia entre
- envolvente convexa de un conjunto finito de puntos
- descripción poliédrica de dicha envolvente convexa mediante un sistema finito de ecuaciones e inecuaciones lineales

Identificando las ecuaciones/inecuaciones que definen Conv(S) podemos resolver el problema de optimización combinatoria como uno de programación lineal

Problema de separación

No es necesario caracterizar todas las facetas de Conv(S). Basta con encontrar las que determinan la solución óptima del problema que queremos resolver.

Dado un poliedro P y un punto x*, identificar si x* $\in$ P. En caso contrario encontrar una desigualdad válida para P $\pi x \leq \pi_0$ tal que $\pi x^* > \pi_0$.



Qué metodología utilizamos

- **Construcción de modelos de Programación Matemática.**
  Análisis de posibles alternativas de modelación e identificación de las que resulten en estructuras que permitan una resolución más eficiente de los problemas.

- **Análisis de las propiedades del modelo propuesto.**
  - Estudio poliédrico del problema.
  - Estudio de desigualdades para reforzar la formulación.
  - Problema de separación para las desigualdades identificadas. Resolución del problema de separación

- **Estudio de propiedades de métodos de descomposición.**
  Relajación lagrangiana; descomposición de Benders; métodos de generación de columnas.

- **Diseño e implementación de algoritmos eficientes de optimización.**
  - Algoritmos exactos: branch-and-cut, o branch-and-price.
  - Para los problemas estocásticos árboles de escenarios tipo branch-and-fix coordinados.
  - Obtención de cotas inferiores: formulación de relajaciones. En relajaciones lagrangianas, resolución del dual lagrangiano.
  - Obtención de cotas superiores: Diseño de métodos heurísticos para obtener soluciones factibles en tiempos reducidos. Búsqueda tabú, algoritmos evolutivos, entornos de profundidad variable (VNS), etc.
  - Estimación de la calidad de las soluciones obtenidas y del “salto” (gap) de optimalidad, a partir de las cotas superiores e inferiores.
  - Tests de eliminación para exploración más eficiente de los árboles.

- **Diseño y realización de experiencia computacional.**
  - Búsqueda de repositorios de instancias. En su defecto generación de una batería de problemas test.
  - Análisis de los resultados obtenidos. Conclusiones.

Nuestros requerimientos computacionales

Diseño de métodos de resolución que aprovechen la estructura del problema y que sean computacionalmente superiores a los métodos de propósito general y a los métodos específicos propuestos anteriormente (si existen).

- Implementación de nuestros propios métodos.
- Complejidad de los problemas: NP-Hard
- Problemas de grandes dimensiones: **Miles de variables y cientos/miles de restricciones.**

  Estructuras de datos sofisticadas para almacenar y manipular de forma eficiente los datos tratados.
- Problemas con estructura: **Métodos de descomposición (resolver el problema original mediante la resolución iterativa de una serie de subproblemas de menor dimensión)**
- Utilizamos técnicas basadas en la optimización/reoptimización de problemas de programación lineal: **Típicamente se necesita la manipulación algebraica de sistemas de ecuaciones/inecuaciones lineales, y distintos tipos de actualizaciones.**
- Técnicas de resolución de problemas duales: **Los más frecuentes son los llamados duales lagrangianos, cuya resolución requiere de métodos numéricos de optimización de funciones no diferenciables (p. ej. optimización subgradiente).**
- Cuando las dimensiones de los problemas rebasan ciertos umbrales:

  Única posibilidad de obtener resultados numéricos es mediante la computación distribuida o a la computación en paralelo.

Relación con otros grupos nacionales e internacionales

Nacional: Relaciones fluidas con grupos en un ámbito metodológico similar al nuestro.

- **Análisis y Aplicaciones de Decisiones sobre Localización de Servicios y Problemas Relacionados.** (MTM2005-24550-E).
  - E.F: (UPC) 13 nodos (107 participantes)
- **Optimización bajo incertidumbre** (MTM2004-21648-E)
  - Andres Ramos (Pontificia de Comillas) 16 nodos (47 participantes)
- **Prodecimientos Meta-heurísticos en Optimízación** (TIN2004-20061-E).
  - Rafael Martí (Universidad de Valencia) 19 nodos (142 participantes)
- **Logística Inversa** (SEJ-2004-20495-E)
  - Adenso Díaz (Universidad de Oviedo) 9 nodos (45 participantes)

Internacional:

- **Institut fur Informatik. U. Heildeberg. Gerhard Reinelt.**
- **U. Bolonia. Paolo Toth y Daniele Vigo.**
- **U. Lancaster. Adam Letchford.**
- **Service de Mathematique de la Gestion. Université Libre de Bruxelles. Martine Labbé.**
- **Chair for Operations Research and Logistics. U. Saarlandes. Saarbrücken. Stefan Nickel**
- **Franunhofer Institut Techno-und-Wirtschaftsmathematik (ITWM) en Kairserslaurten.**
- **Dpt. Econometrics and OR universidad de Groningen. Maarten van der Vlerk.**
- **U. Duisburg-Essen. Rüdiger Schultz**
- **Dpt. of Math Sciencies. U. Brunel, Gautam Mitra.**
- **Centre de Recherche sur les Transports. U. Montréal. Gilbert Laporte. Mike Florian. Jean F. Cordeau**