



Introducción a la Investigación Operativa

Modelos Operativos de Gestión
Ingeniería del Software, UCM.

Elisenda Molina Ferragut
`elisenda.molina@ucm.es`



- 1 Organización y presentación de la asignatura
- 2 Investigación Operativa. Definición, orígenes y desarrollo.
- 3 Investigación Operativa. Aplicación y ventajas.
- 4 Problemas que estudiaremos. Ejemplos



- 1 Organización y presentación de la asignatura
- 2 Investigación Operativa. Definición, orígenes y desarrollo.
- 3 Investigación Operativa. Aplicación y ventajas.
- 4 Problemas que estudiaremos. Ejemplos



- **Profesora:** Elisenda Molina Ferragut, elisenda.molina@ucm.es
- **Tutorías:** previa petición por mensaje CV
- **Clases:**
 - Lunes: 11h, 12h: aula 5
 - Jueves: 11h, 12h: aula 5
- **Material Docente:** en Campus Virtual
- **Software:** GAMS (versión estudiante), GeoGebra, Excel, otros.
- **Evaluación:**
 - 15 % evaluación continua. Resolución de 3 bloques de problemas (OLC, OLD-OR, TC). No recuperable.
 - 15 % trabajo práctico en grupos de 3 alumnos. Recuperable.
 - 70 % examen final (ordinaria y extraordinaria). Al menos un 4/10.



Empleo de modelos matemáticos para planificar la asignación de recursos, usualmente escasos, de la mejor manera posible, teniendo en cuenta toda la información disponible.

- Redes de transporte: viajeros, paquetes, recogida de residuos, etc.
- Gestión de la cadena de suministro: alimentación, vacunas, etc.
- Horarios: trabajadores, trenes, personal sanitario, etc.
- Gestión de un servicio de espera: de atención hospitalaria, de redes de ordenadores, etc.
- ...



Desarrollo y análisis de los modelos matemáticos adecuados y de algoritmos eficientes de resolución del problema.

- Optimización Matemática (temas 2 y 3)
- Teoría de Grafos (tema 4)
- Teoría de Colas (tema 5)
- Simulación
- Teoría de Juegos
- Teoría de Sistemas (sistemas dinámicos)
- ...

¿Qué vamos a aprender?



1. Identificar, modelizar y resolver problemas de **I.O.** en la toma de decisiones relativas a problemas de gestión en el ámbito de la Informática.
2. Entender y afrontar las dificultades más habituales que se presentan en este tipo de problemas. Conocer las características y propiedades de los modelos y algoritmos.
3. Emplear herramientas y técnicas de optimización modernas para la resolución eficaz de los problemas planteados.



- 1 Organización y presentación de la asignatura
- 2 Investigación Operativa. Definición, orígenes y desarrollo.
- 3 Investigación Operativa. Aplicación y ventajas.
- 4 Problemas que estudiaremos. Ejemplos

¿Qué es la Investigación Operativa?



INFORMS (Institute for Operations Research and the Management Sciences)

DISCIPLINE

OR is a practice for professional, not just for data base software

APPLYING

OR is real-world, not just theory.

ADVANCED

OR uses highly developed tools.

THE DISCIPLINE OF APPLYING ADVANCED ANALYTICAL METHODS TO HELP MAKE BETTER DECISIONS

METHODS

OR has characteristic procedures and techniques.

BETTER DECISIONS

OR is not about the ideals, but about sound judgments and conclusions.

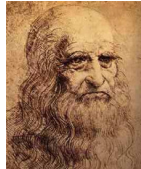
ANALYTICAL

OR resolves problems by breaking them down to basic principles.

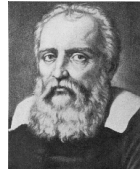
Orígenes (I). Antes de la II Guerra Mundial



Archimedes,
287–212BC



L. da Vinci,
1452–1519



G. Galilei,
1564–1642



J. Bernoulli,
1654–1705



F.W. Taylor,
1856–1915



H.L. Gantt,
1861–1919



A.K. Erlang,
1878–1929

Orígenes (II). Durante la II Guerra Mundial I



- Los **orígenes** se sitúan en los **aledaños de la Segunda Guerra Mundial**, cuando grupos **multidisciplinares** de científicos civiles y militares de la **Royal Air Force** se plantearon problemas de tipo bélico.
- En 1936, se establece la Estación de Investigación de Bawdsey para contrarrestar la potencia alemana. Se realizaron experimentos encaminados a la **localización de aeronaves alemanas mediante el envío de ondas de radio** (RADAR, Radio Detection And Ranging - Detección y medición de distancias mediante radio).
- Surgen nuevos problemas derivados del **uso eficiente de la información** de RADAR.
- En el año (1938) el Superintendente de la Estación de Bawdsey, A.P. Rowe, acuñó el término *Operational Research* para describir la investigación de los **aspectos operativos**, a diferencia de los aspectos técnicos, del sistema de radares.



- En 1942, al entrar en la guerra los Estados Unidos, P.M. Morse, en colaboración con el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) forma un grupo para estudiar el plan de guerra antisubmarino:
 - Desarrollaron un método de búsqueda para **maximizar** la probabilidad de localizar un submarino partiendo de una cierta posición.
 - En colaboración con los ingleses encontraron **estrategias óptimas** sobre el número de buques antisubmarinos, el número de buques escolta y el número de aviones de observación para luchar contra los submarinos alemanes.



- Interdisciplinar: informática, matemáticas, gestión de empresas, ingenierías, economía, ...
- Después de la Segunda Guerra Mundial se extiende a la empresa y al sector público.
- Cuantitativa: basada en modelos matemáticos, resueltos por ordenador.
- Evolución: ligada a la de los ordenadores.



En la práctica: O.R & Analytics Impact Everything
(<https://www.informs.org/Impact>)

- Asignación dinámica de turnos de trabajo en BritishTelecom (40,000 ingenieros): esperaban ahorrar 250M \$ cada año.
- Asignación de tripulaciones en Continental Airlines (reorganización ante fenómenos inesperados): Continental Airlines ahorró 40M \$.
- Planificación de la cadena de suministro en IBM.
- Mejora del rendimiento de centros de atención telefónica (call centers”).
- Mejora de operaciones de reparto postal en UPS (rediseño de la red): ahorró 87M \$.
- Mejora de estrategias de oferta de espacio publicitario: NBC incrementó su beneficio en más de 200M \$.



- La Alliance for Paired Donation ha salvado más de 220 vidas entre 2006 y 2015 gracias a un emparejamiento óptimo entre donante y paciente.
- Mejora en el tratamiento de radioterapia de pacientes de cancer.
- United Nations World Food Programme (WFP) (Nobel de la Paz 2020).



- 1 Organización y presentación de la asignatura
- 2 Investigación Operativa. Definición, orígenes y desarrollo.
- 3 Investigación Operativa. Aplicación y ventajas.**
- 4 Problemas que estudiaremos. Ejemplos



El Investigador Operativo como MODELADOR

- Un modelo es una representación matemática (aproximada) de la realidad que sirve como herramienta para la toma de decisiones.
All models are wrong, but some are useful. (George Box)
- Modelar (o modelizar): traducir la realidad a un conjunto de ecuaciones y reglas que sea capaz de equilibrar la capacidad de representar todos los detalles junto con la factibilidad de resolverlo desde el punto vista computacional.

El Investigador Operativo como OPTIMIZADOR

- Una vez construido el modelo, es necesario estudiar cómo actuar sobre él, modificándolo para lograr unos objetivos fijados de antemano.
- Optimizar: seleccionar la mejor decisión, según algún criterio, de entre todas las posibles.



1. Definición del problema: ¿qué está ocurriendo y cómo se quiere (puede) solventar?
2. Recogida de datos: ¿qué se necesita medir para poder decidir cómo actuar?
3. Formulación del modelo: ¿qué ecuaciones y herramientas matemáticas son necesarias?
4. Solución (optimización) del modelo: ¿qué algoritmos permiten obtener una solución óptima (*no siempre*)?
5. Validación de la solución y del modelo propuesto: ¿tiene sentido? ¿se comporta bien?
6. Puesta en marcha de la solución: implementar la solución en la práctica.



1. Se incrementa la posibilidad de tomar mejores decisiones: **se evita tomar decisiones con carácter intuitivo**; estas decisiones tienden a ignorar la mayoría de las relaciones que existen entre las componentes del sistema.
2. **Mejora la coordinación** entre las múltiples componentes de la organización, ya que genera un mayor nivel de ordenación.
3. **Mejora el control del sistema** al instituir procedimientos sistemáticos que supervisan, por un lado, las operaciones que se llevan a cabo en la organización y, por otro, evita el regreso a un sistema peor, señalando decisiones que pueden conducir a resultados muy peligrosos para la estabilidad y buen funcionamiento del sistema.
4. **Logra un sistema mejor** al hacer que éste opere con costes más bajos, con interacciones más fluidas, eliminado cuellos de botella y logrando una mejor coordinación entre los elementos importantes de todo el sistema.



- <http://www.scienceofbetter.org/>
Web de INFORMS (Institute for Operations Research and the Management Sciences), Sociedad Norteamericana de Investigación Operativa (<http://www.informs.org/>).
- <http://www.phpsimplex.com/historia.htm>
- Wikipedia en castellano: buscar “investigación operativa” en <http://es.wikipedia.org>:
http://es.wikipedia.org/wiki/Investigacion_de_Operaciones
- Wikipedia en inglés (más completa):
http://en.wikipedia.org/wiki/Operations_research



- 1 Organización y presentación de la asignatura
- 2 Investigación Operativa. Definición, orígenes y desarrollo.
- 3 Investigación Operativa. Aplicación y ventajas.
- 4 Problemas que estudiaremos. Ejemplos**

Programación lineal. Fábrica de cerveza.



Una fábrica de cerveza produce dos tipos: rubia y negra. Las tecnologías de producción para cada una de ellas son muy distintas.

La fábrica debe decidir cuántos litros de cerveza debe producir semanalmente teniendo en cuenta que 1000 litros de cerveza rubia se venden a 100 euros y 1000 litros de cerveza negra a 125 euros.

Para producir 1000 litros de cerveza rubia (negra) se necesitan 3 (5) empleados. La fábrica sólo dispone de 15 empleados.

La compra de materias primas supone para el fabricante un precio de 90 euros (85 euros) por cada 1000 litros de cerveza rubia (negra) y dispone de 350 euros semanales para este concepto.

El problema que se plantea la gerente de la fábrica es determinar cuántos litros de cerveza debe producir teniendo en cuenta las condiciones anteriores.



Productos

Productos	beneficio	coste	mano obra
C. Rubia	100	90	3
C. Negra	125	85	5

Recursos

Recursos	límites
Dinero	350
Trabajadores	15



Problema de la dieta

Considerar 9 nutrientes básicos y una lista con 77 comidas. Cada comida tiene un coste y un aporte de cada tipo de nutriente. ¿Cuánto de cada comida hay que comer cada día para satisfacer unas necesidades nutricionales dadas a coste mínimo?

Curiosidades

- Uno de los primeros problemas de optimización estudiados (años 30)
- George Stigler: 1939, con una heurística, solución aproximada: 39,93\$ al año
- Dantzig: método del símplex. 1947, solución óptima: 39,69\$ al año



Programa Mundial de Alimentos de la ONU

- En Irak, la analítica ayudó a identificar cestas de alimentos más rentables.
- La optimización simultánea de la composición de la ración y de la estrategia de la cadena de suministro redujo los costes operativos mensuales en un 12 % sin comprometer el rendimiento nutricional de la cesta.
- Esta ración optimizada se distribuyó durante más de dos años, lo que supuso un ahorro de más de 25M\$.

Programación lineal. Problema del transporte.



Uno de los modelos más usados en logística es el modelo del transporte.

La compañía PECÉ dispone de un centro de montaje situado en Madrid y un almacén en Zaragoza.

Además, cuenta con 8 grandes clientes situados en: Madrid, Zaragoza, Bilbao, Barcelona, Valencia, Alicante, Albacete y Pamplona.

La empresa dispone de 100 ordenadores de mesa en el centro de montaje y 45 en el almacén para servir la demanda de estos 8 clientes.

Costes de transporte

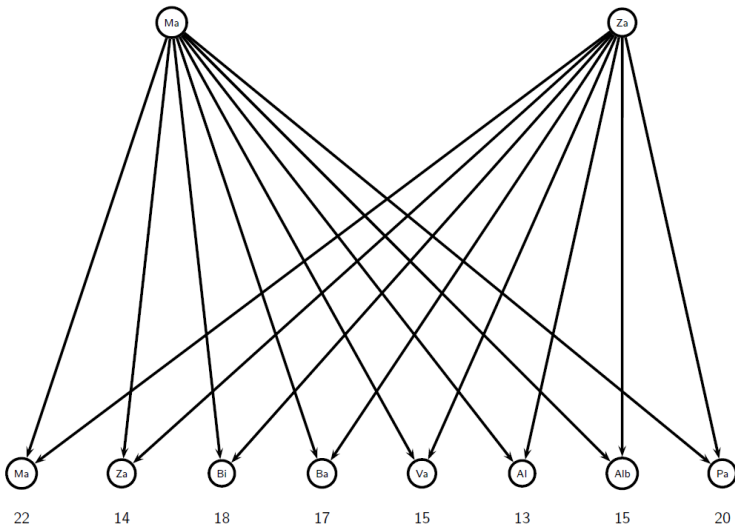
	Ma	Za	Bi	Ba	Va	Al	Alb	Pa
Madrid	14.00	24.00	21.00	20.00	21.50	19.00	17.00	30.00
Zaragoza	24.00	15.00	28.00	20.00	18.50	19.50	24.00	28.00
Demanda	22	14	18	17	15	13	15	20

Problema del transporte. Representación gráfica



Origenes

Destinos





Problema de asignación

Una consultora tiene 5 problemas independientes que resolver. Para ello dispone de 5 equipos de trabajo, cada uno con unas habilidades. El tiempo que tardaría cada equipo en hacer cada trabajo está dado en la siguiente tabla

	P1	P2	P3	P4	P5
Equipo 1	35	18	39	18	20
Equipo 2	26	28	19	18	21
Equipo 3	32	40	16	39	26
Equipo 4	16	21	31	39	36
Equipo 5	38	35	40	22	32

¿Cómo ha de asignar la consultora los problemas de manera que se minimice el tiempo total que se tarda en realizarlos?



El condado de Washington incluye 6 poblaciones que necesitan servicios de ambulancias para urgencias.

Las estaciones de ambulancias pueden estar ubicadas en cualquiera de las 6 poblaciones (o en todas).

Debido a la proximidad de algunas de las poblaciones, una única estación puede dar servicio a más de una comunidad.

La estación debe estar a 15 minutos de distancia de las poblaciones a las que sirve.

Programación lineal entera. Problema de cubrimiento.



Las distancias entre las poblaciones (en tiempo empleado en ir de una a otra) son:

	1	2	3	4	5	6	Coste
1	0	23	14	18	10	32	100
2	23	0	24	13	22	11	120
3	14	24	0	60	19	20	90
4	18	13	60	0	55	17	60
5	10	22	19	55	0	12	80
6	32	11	20	17	12	0	95

Determinar la ubicación de las estaciones que minimiza el número de estaciones de ambulancias.

Problemas en grafos. Problema del viajante.



Una empresa dedicada a la producción de carrocerías tiene un único túnel de pintura para todas las carrocerías que fabrica.

En este momento, se están fabricando carrocerías negras, rojas, amarillas, azules y blancas.

Cada vez que se cambia de color, la producción debe pararse para limpiar el equipo, y evitar que las pinturas se mezclen. El tiempo necesario para esta operación depende de los colores entre los que se pretende cambiar, ya que unos son más sensibles que otros. Por esto, la empresa pinta juntos todos los coches del mismo color.

En estos momentos, debe decidir qué secuencia de colores utilizar para minimizar el tiempo total perdido en limpieza del equipo.

Por política de la empresa, debe mantenerse el mismo patrón todos los días, de manera que al final de cada día, las máquinas deben dejarse a punto para empezar al día siguiente con el primer color.



En la tabla siguiente, están los tiempos de limpieza del equipo para cada transición entre colores:

de/a	negro	rojo	amarillo	azul	blanco
negro	0	3	5	2	7
rojo	1	0	4	3	5
amarillo	3	4	0	4	2
azul	1	3	4	0	5
blanco	2	2	1	2	0

¿Cómo se puede encontrar la secuencia óptima de colores?



Técnicas de planificación y control de proyectos (PERT, CPM)

Un determinado artículo está compuesto por dos productos ensamblados. Se desea hacer la planificación para saber cuándo será posible disponer del artículo ya terminado habiéndose determinado que las actividades a realizar, sus precedencias y sus duraciones son las que se recogen en la siguiente tabla:

Actividad	Descripción	Predecesores	Duración
A	Capacitar trabajadores	-	6
B	Comprar materia prima producto 1	-	9
C	Comprar materia prima producto 2	-	5
D	Fabricar producto 1	A,B	8
E	Fabricar producto 2	A,C	7
F	Probar producto 2	E	10
G	Ensamblar productos 1 y 2	D,F	12



En una red de ordenadores, los mensajes tienen un tamaño medio de 500 bits y son transmitidos por una línea de comunicación con una tasa media de 20 mensajes/segundo.

- ¿Cuál es la velocidad mínima de la línea necesaria para atender todo el tráfico?
- ¿Cuál es la velocidad mínima de la línea necesaria para atender todo el tráfico si el nivel medio de uso la misma no debe superar el 80 %?
- ¿Cuál es el paso máximo en este segundo caso, si la línea funciona a la velocidad mínima?