



Optimización en la asignación de recursos

Problemas, técnicas, soluciones

Javier Diego
Noviembre de 2017



Indice

Introducción

- Objetivo
- Ideas previas
 - Un ejemplo
 - Naturaleza del problema
 - Técnicas de resolución

Actores

Escenarios

Arquitecturas

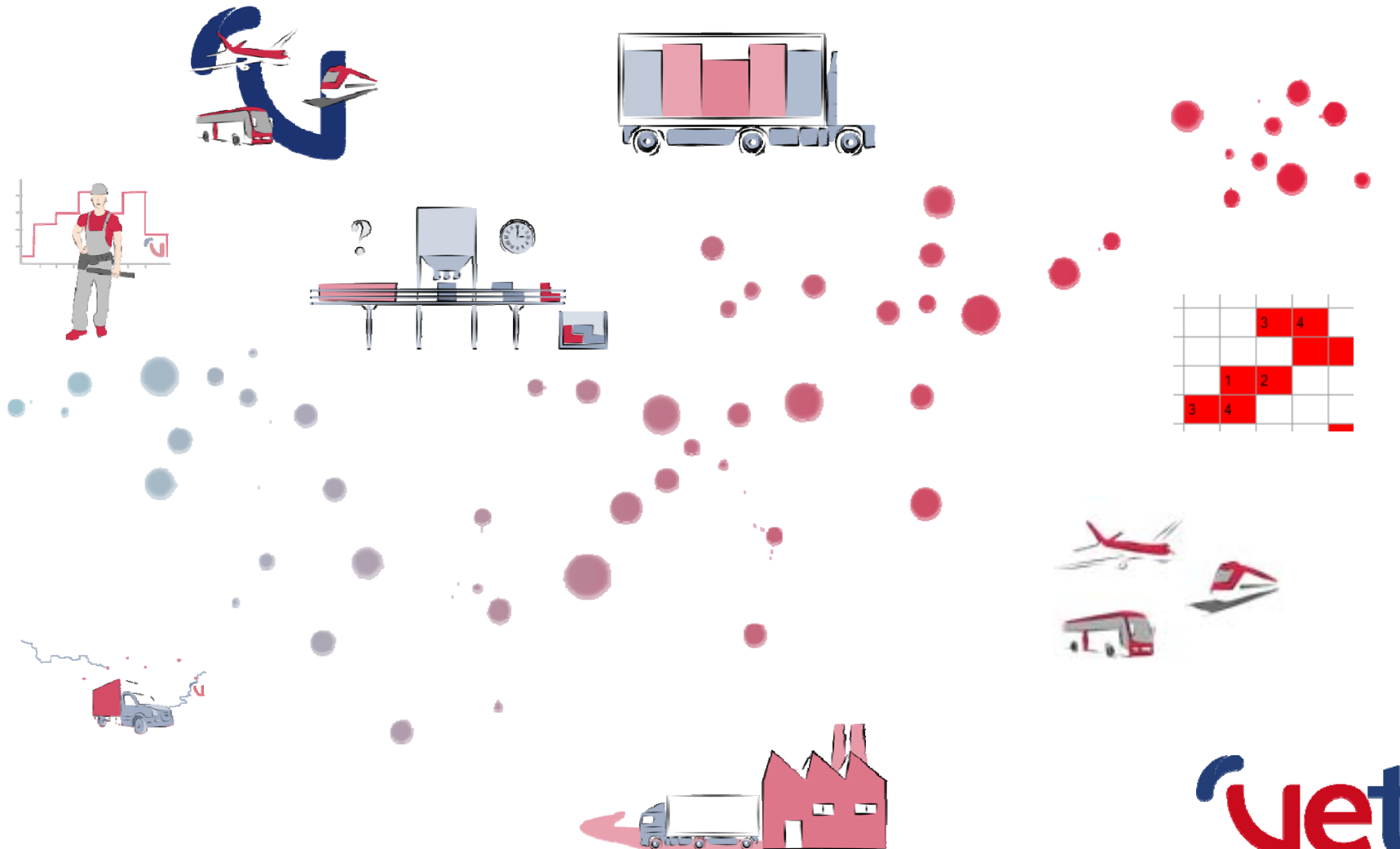
Problemas

- Planificación de personal
- Asignación de vacaciones
- Rutas de vehículos
- Asignación de contenedores
- Asignación de habitaciones
- Rutas de viaje



Introducción

Optimización en la asignación de recursos



El objetivo de esta presentación

Identificar

Problemas de asignación de recursos



Aplicar

Investigación Operativa
Tecnologías de la Información

Optimización Heurística Restricción
Modelo Contenedor
Procesos Recurso Actividad
Matemáticas Locomotora Turno
Investigación Operativa Camión

¿Hay un problema de
asignación de recursos?

¿Se puede mejorar?



Vamos a hacer unas preguntas previas



No es sencillo reconocer un problema de asignación de recursos

IDEAS PREVIAS

Optimización de recursos



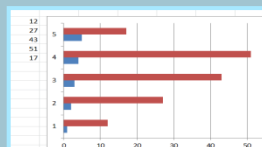
¿Puedo mejorar?

¿Hago asignación de recursos?



Aumentar el beneficio

Reducir coste



Lo puedo hacer con Excel



Un ordenador moderno
lo hace en un 'click'



Dice el comercial:

“Es la mejor solución”

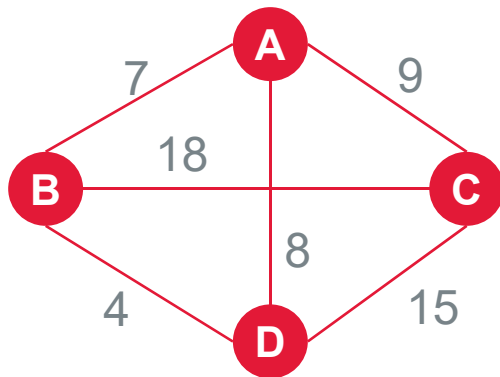


Vamos a ver un ejemplo sencillo



Un problema sencillo puede ser difícil de resolver

Un ejemplo sencillo El problema del viajante



Fuente: CIENCIACIERTA 2012



Descripción

Un viajante sale de su casa, visita una serie de clientes y vuelve a su casa



El problema

Minimizar la distancia recorrida



Los datos

Distancia entre cada par de ciudades



Soluciones

A-B-C-D-A 48 Km

A-B-D-C-A 35 Km

A-C-B-D-A 31Km



Vamos a ver la naturaleza del problema



El problema de asignación de recursos más sencillo

Un ejemplo

El problema del viajante



Problema sencillo

de entender



Problema

con soluciones distintas



Soluciones

con distinto coste



Se busca

la mejor solución



Problema difícil

de resolver



Vamos a ver el problema en números



El problema de asignación de recursos más sencillo

Un ejemplo El problema del viajante



Modelo matemático

$$\min. z = \sum_{ij} x_{ij} d_{ij}$$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad \forall j$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \forall i \neq j, i \geq 1$$



Cantidad de soluciones: $(n-1)!/2$

$n = 5$, 12 soluciones.

$n = 10$, 181.440 soluciones.

$n = 14$, 3.113.510.400 soluciones.

$n = 20$, 60.822.550.204.416.000 soluciones.

$n = 30$, más de $4 \cdot 10^{31}$ rutas posibles.

Un ordenador que calcule un millón de rutas por segundo necesitaría 10^{18} años para resolverlo (fuente: Wikipedia.org)

Vamos a ver la características generales



El problema de asignación de recursos más sencillo

Un ejemplo

El problema del viajante con más ciudades

Ruta	Distancia
Salamanca, Madrid, Cáceres, Avila, Segovia, Salamanca	704
Salamanca, Madrid, Cáceres, Segovia, Avila, Salamanca	710
Salamanca, Madrid, Ávila, Cáceres, Segovia, Salamanca	1.030
Salamanca, Madrid, Avila, Segovia, Cáceres, Salamanca	892
Salamanca, Madrid, Segovia, Cáceres, Avila, Salamanca	971
Salamanca, Madrid, Segovia, Avila, Cáceres, Salamanca	827
Salamanca, Cáceres, Madrid, Avila, Segovia, Salamanca	569
Salamanca, Cáceres, Madrid, Segovia, Avila, Salamanca	510
Salamanca, Cáceres, Avila, Madrid, Segovia, Salamanca	830
Salamanca, Cáceres, Avila, Segovia, Madrid, Salamanca	827
Salamanca, Cáceres, Segovia, Madrid, Avila, Salamanca	836
Salamanca, Cáceres, Segovia, Avila, Madrid, Salamanca	892
Salamanca, Avila, Madrid, Cáceres, Segovia, Salamanca	713
Salamanca, Avila, Madrid, Segovia, Cáceres, Salamanca	836
Salamanca, Avila, Cáceres, Madrid, Segovia, Salamanca	648
Salamanca, Avila, Cáceres, Segovia, Madrid, Salamanca	971
Salamanca, Avila, Segovia, Madrid, Cáceres, Salamanca	510
Salamanca, Avila, Segovia, Cáceres, Madrid, Salamanca	710
Salamanca, Segovia, Madrid, Cáceres, Avila, Salamanca	648
Salamanca, Segovia, Madrid, Avila, Cáceres, Salamanca	830
Salamanca, Segovia, Cáceres, Madrid, Avila, Salamanca	713
Salamanca, Segovia, Cáceres, Avila, Madrid, Salamanca	1.030
Salamanca, Segovia, Avila, Madrid, Cáceres, Salamanca	569
Salamanca, Segovia, Avila, Cáceres, Madrid, Salamanca	704



El tamaño de problema crece

Según aumentan las ciudades



Problema cada vez más difícil

Porque hay más soluciones



Crecimiento exponencial

Una ciudad más, duplica soluciones



Optimización combinatoria

Se busca la mejor solución



Investigación Operativa

Se pueden resolver los problemas



Vamos a enumerar otros problemas de asignación de recursos



Existen muchos problemas de asignación de recursos

Mismo enfoque

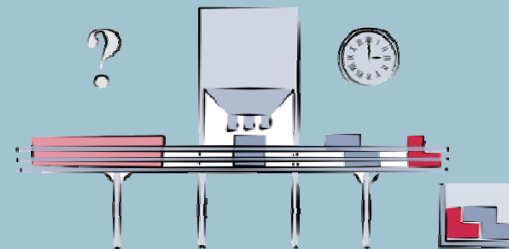
Asignar actividades a recursos de la mejor forma posible

Recursos

- Humano
- Máquina / Línea
- Fábrica
- Almacén
- Camión
- Locomotora
- Avión
- ...

Cada problema es distinto
El algoritmo es distinto

- Planificación de personal
- Planificación del transporte y la producción
- Localización de plantas y almacenes
- Planificación de producción
- Viajante
- Rutas de vehículos
- Asignación de flotas
- Asignación de contenedores
- Redes de telecomunicaciones



Veamos una clasificación de problemas

Tipos de problemas de asignación de recursos



Investigación Operativa (IO)

Metodología

Desarrollo de un proyecto IO



‘La Investigación Operativa es la aplicación del enfoque científico a la toma de decisiones’



Formular del problema

Conocer el problema a resolver.



Definir el modelo matemático

Variables, coeficientes, restricciones y objetivos.



Obtener la solución

Definir el algoritmo y programarlo.
Tuning y rendimiento



Verificar la solución

La solución obtenida se puede aplicar al problema formulado.



Poner en marcha la solución

Sistema en explotación **que reduce costes.**



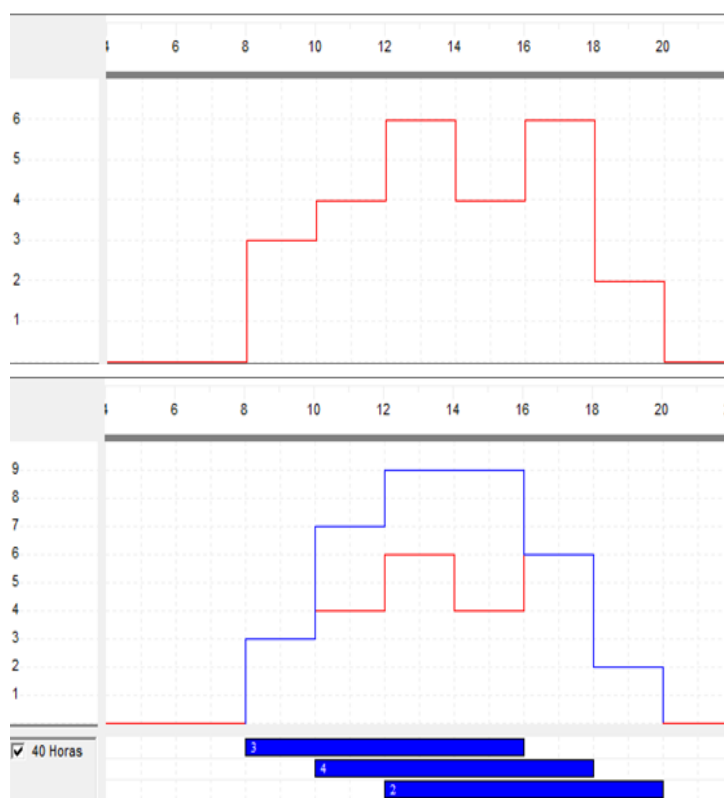
Fuente: Hillier y Lieberman

Hablamos de algo más que un algoritmo



Sistema de apoyo a la toma de decisiones

Decisiones coherentes Fundamentadas en la IO

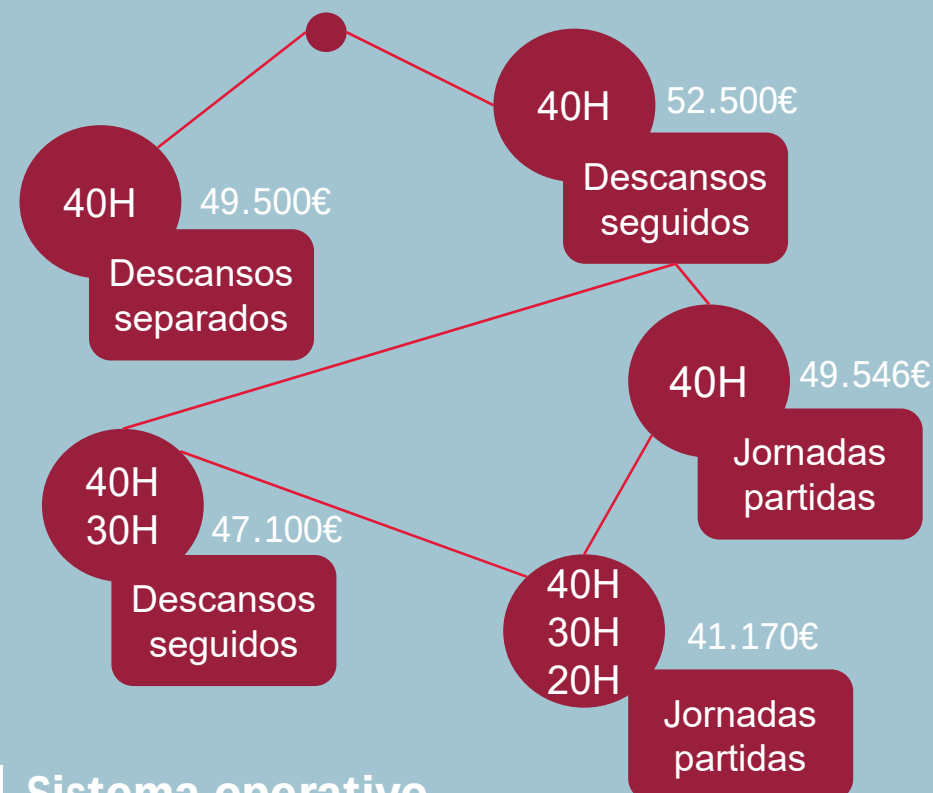


Fuente: Vetu.es



Tomar decisiones

Composición de la plantilla



Sistema operativo

Calcula los turnos de cada semana



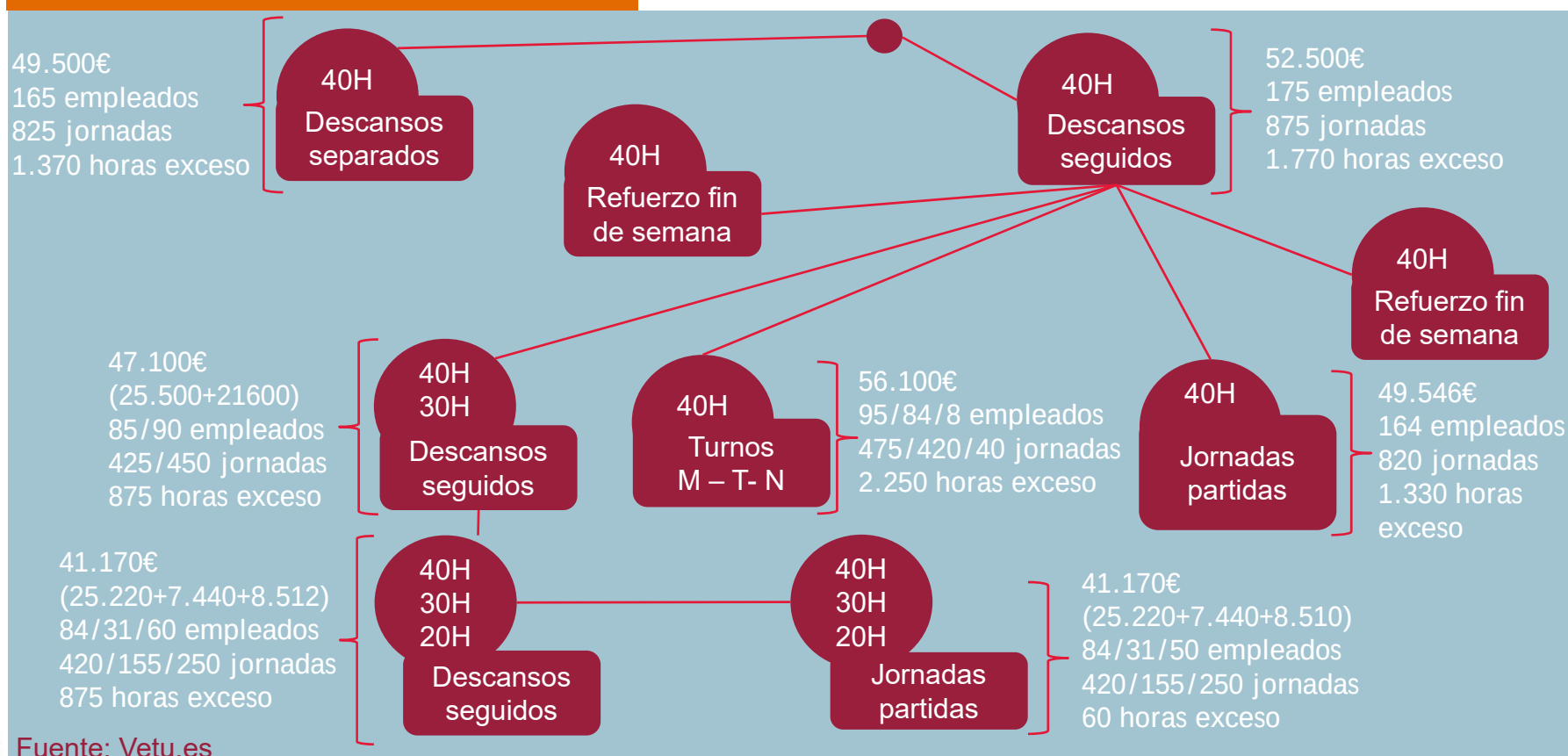
Vamos a ver el proceso completo de toma de decisiones



Decidir la estructura de la plantilla de trabajo

Decisiones coherentes Fundamentadas en la IO

Demanda de carga de trabajo: 5.230 horas semanales
¿Cuánto cuesta la plantilla?
¿Cuánto cuesta cada parámetro contractual?



Fuente: Vetu.es

Ahora vamos a ver las técnicas para resolver los problemas

Es bueno saber cómo se resuelve el problema

Técnicas de resolución

Las matemáticas



Enumeración explícita

Mejor solución

No es viable en casos prácticos



Técnica exacta

Mejor solución

No funciona en problemas grandes



Heurística

Una buena solución

Funciona en problemas grandes



Metaheurística

Buenas soluciones

Funciona en problemas grandes



Propagación de restricciones

Soluciones consistentes

Funciona en problemas grandes



Técnicas híbridas

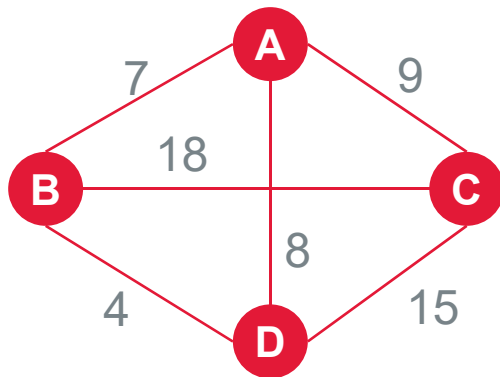
Vamos a ver la diferencia de técnicas sobre el TSP



Es bueno saber cómo se resuelve el problema

Técnicas de resolución

Las matemáticas



Fuente: CIENCIACIERTA 2012



Enumeración explícita

A-B-C-D-A 48 Km
A-B-D-C-A 35 Km
A-C-B-D-A 31Km



Heurística

Seleccionar la población más cercana
A-B-D-C-A 35 Km



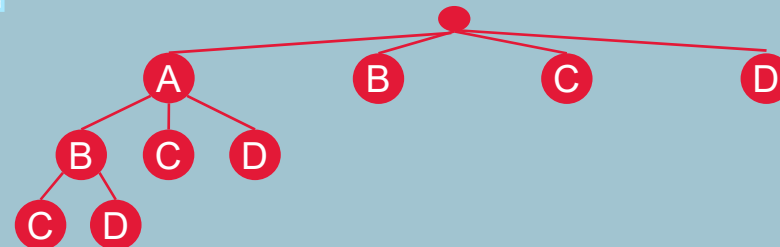
Técnica exacta (programación lineal)

Encuentra el óptimo
A-C-B-D-A 31Km



Propagación de restricciones

Genera soluciones factibles



Vamos a ver técnicas de resolución con mas detalle



Es bueno saber cómo se resuelve el problema

Técnicas de resolución

Técnicas exactas

Max $Z = 500x_1 + 200x_2$

s.a.: $3x_1 + 1/2x_2 \leq 60$

$x_1 + x_2 \leq 40$

$2x_1 + 1/2x_2 \leq 90$

$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$

donde: x_1 es la cantidad de televisores fabricados semanalmente

x_2 es la cantidad de radios fabricadas semanalmente

Teorema fundamental

- Existe un número finito de soluciones.
- Las soluciones están en los vértices.

Identificación de la solución óptima

- La solución es óptima si los criterios del simplex son negativos

Programación lineal

T:1	-Z	x1	x2	x3	x4	x5
	0	500	200	0	0	0
x3	60	3	1/2	1	0	0
x4	40	1	1	0	1	0
x5	90	2	1/2	0	0	1

T:2	-Z	x1	x2	x3	x4	x5
	-10.000	0	350/3	-500/3	0	0
x1	20	1	1/6	1/3	0	0
x4	20	0	5/6	-1/3	1	0
x5	50	0	1/6	-2/3	0	1

T:3	-Z	x1	x2	x3	x4	x5
	-12.800	0	0	-120	-140	0
x1	16	1	0	2/5	-1/5	0
x2	24	0	1	-2/5	6/5	0
x5	46	0	0	-3/5	-1/5	1

Pero con variables enteras se complica la resolución

Es bueno saber cómo se resuelve el problema

Técnicas de resolución ¿Técnicas exactas?

$$\text{Max } Z = 9x_1 + 5x_2 + 6x_3 + 4x_4$$

$$\text{s. a: } 6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 \leq 10$$

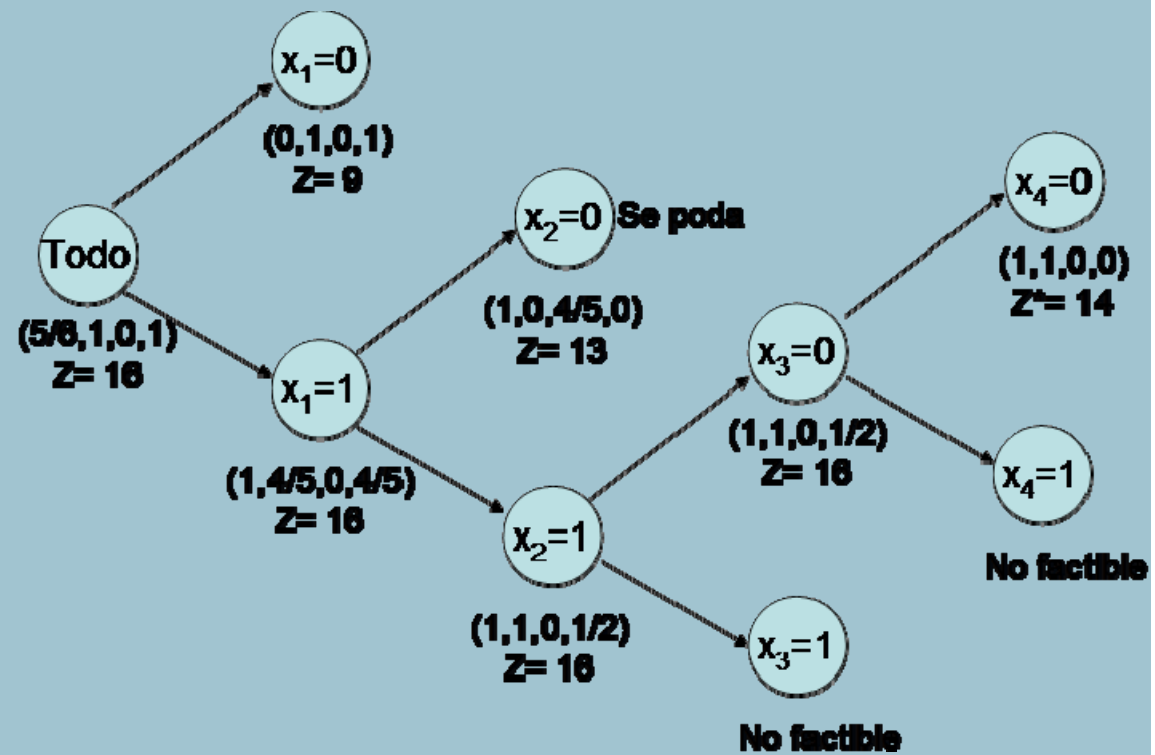
$$x_3 + x_4 \leq 1$$

$$-x_1 + x_3 \leq 0$$

$$-x_2 + x_4 \leq 0$$

x_1, x_2, x_3, x_4 son enteras

Programación lineal entera (binaria)



Si la resolución lleva mucho tiempo de cálculo se aplican otras técnicas

Es bueno saber cómo se resuelve el problema

Técnicas de resolución

Técnicas aproximadas

¿Cuándo se utilizan?

Buenas soluciones

Tiempo de cálculo aceptable

No identifican la solución óptima

Frameworks genéricos que se
pueden aplicar a muchos tipos de
problema, con pocas adaptaciones.

Bioinspiradas ...

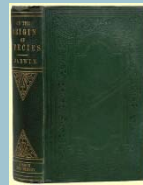
Metaheurísticas



Colonias de hormigas

Ant Colony Optimization

Fuente: aco-metaheuristic.org



Computación evolutiva

Evolutionary Computation

Fuente: darwin-online.org.uk



Recocido simulado

Simulated Annealing

Fuente: Facts, Conjectures, and Improvements for Simulated Annealing



Tabu Search, Iterated Local Search,
Memetic Algorithm, Adaptive
Iterated Construction Search, ...



Veamos la programación por restricciones



Es bueno saber cómo se resuelve el problema

Técnicas de resolución Soluciones factibles

Programación por restricciones (CP)

Constraint optimization, or constraint programming (CP), is the name given to identifying feasible solutions out of a very large set of candidates, where the problem can be modeled in terms of arbitrary constraints. CP problems arise in many scientific and engineering disciplines. (The word "programming" is a bit of a misnomer, similar to how "computer" once meant "a person who computes". Here, "programming" refers to the arrangement of a plan, rather than programming in a computer language.)

CP is based on *feasibility* (finding a feasible solution) rather than optimization (finding an optimal solution) and focuses on the constraints and variables rather than the objective function. In fact, a CP problem may not even have an objective function — the goal may simply be to narrow down a very large set of possible solutions to a more manageable subset by adding constraints to the problem.

An example of a problem that is well-suited for CP is *employee scheduling*.

The problem arises when companies that operate continuously — such as factories — need to create weekly schedules for their employees. Here's a very simple example: a company runs three 8-hour shifts per day and assigns three of its four employees to different shifts each day, while giving the fourth the day off.

Even in such a small case, the number of possible schedules is huge: each day, there are $4! = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$ possible employee assignments, so the number of possible weekly schedules is 24^7 , which is over 4.5 billion. Usually there will be other constraints that reduce the number of feasible solutions — for example, that each employee works at least a minimum number of days per week.

The CP method keeps track of which solutions remain feasible when you add new constraints, which makes it a powerful tool for solving large, real-world scheduling problems.

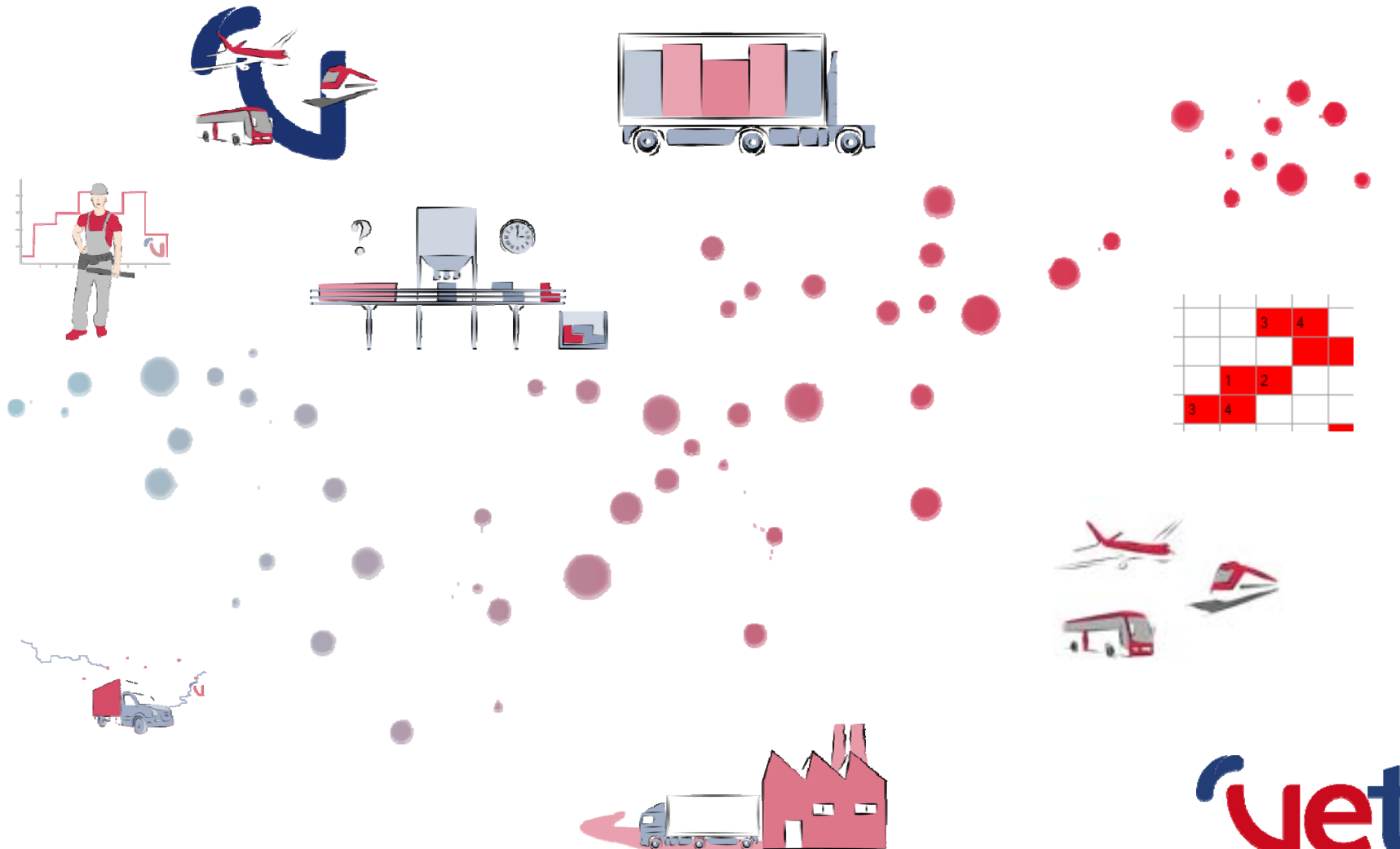
Fuente: <https://developers.google.com/optimization/cp/>

Hemos terminado el capítulo



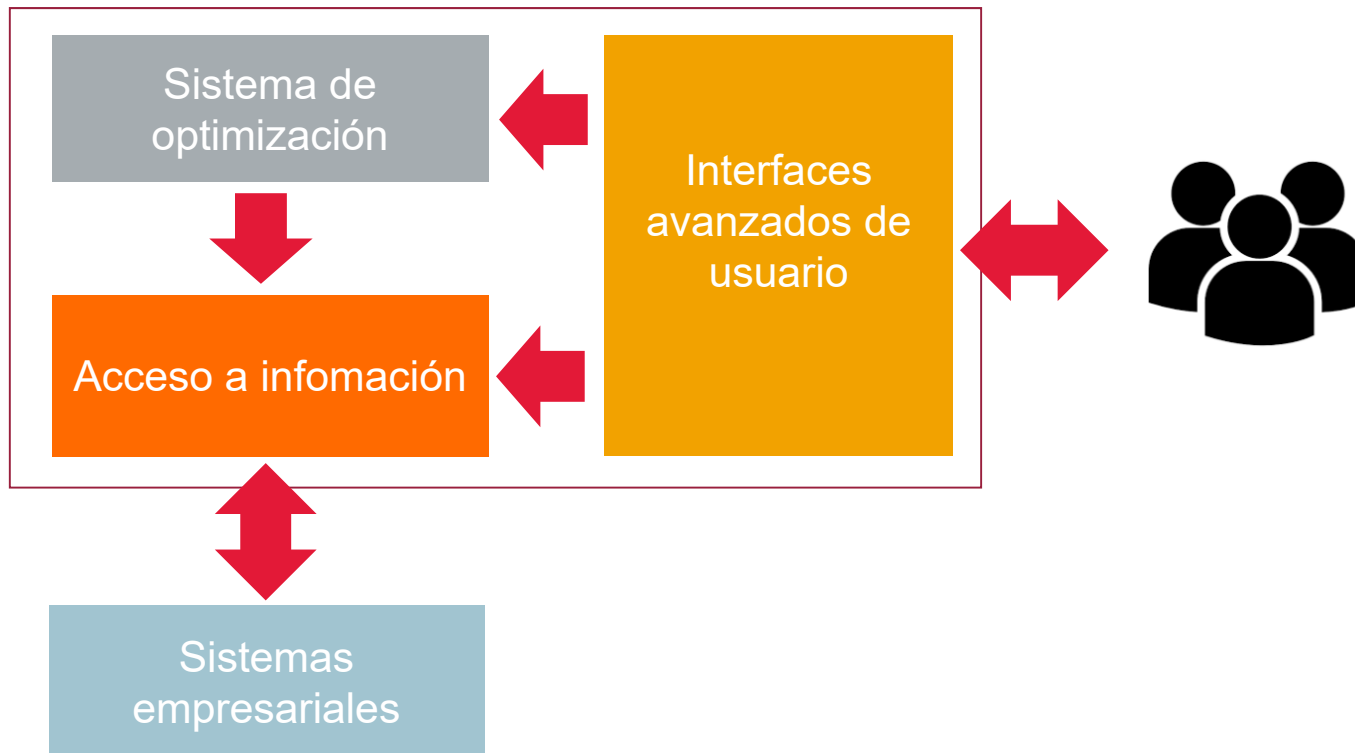
Actores

Sistemas de asignación de recursos



Sistema de asignación de recursos

Módulos

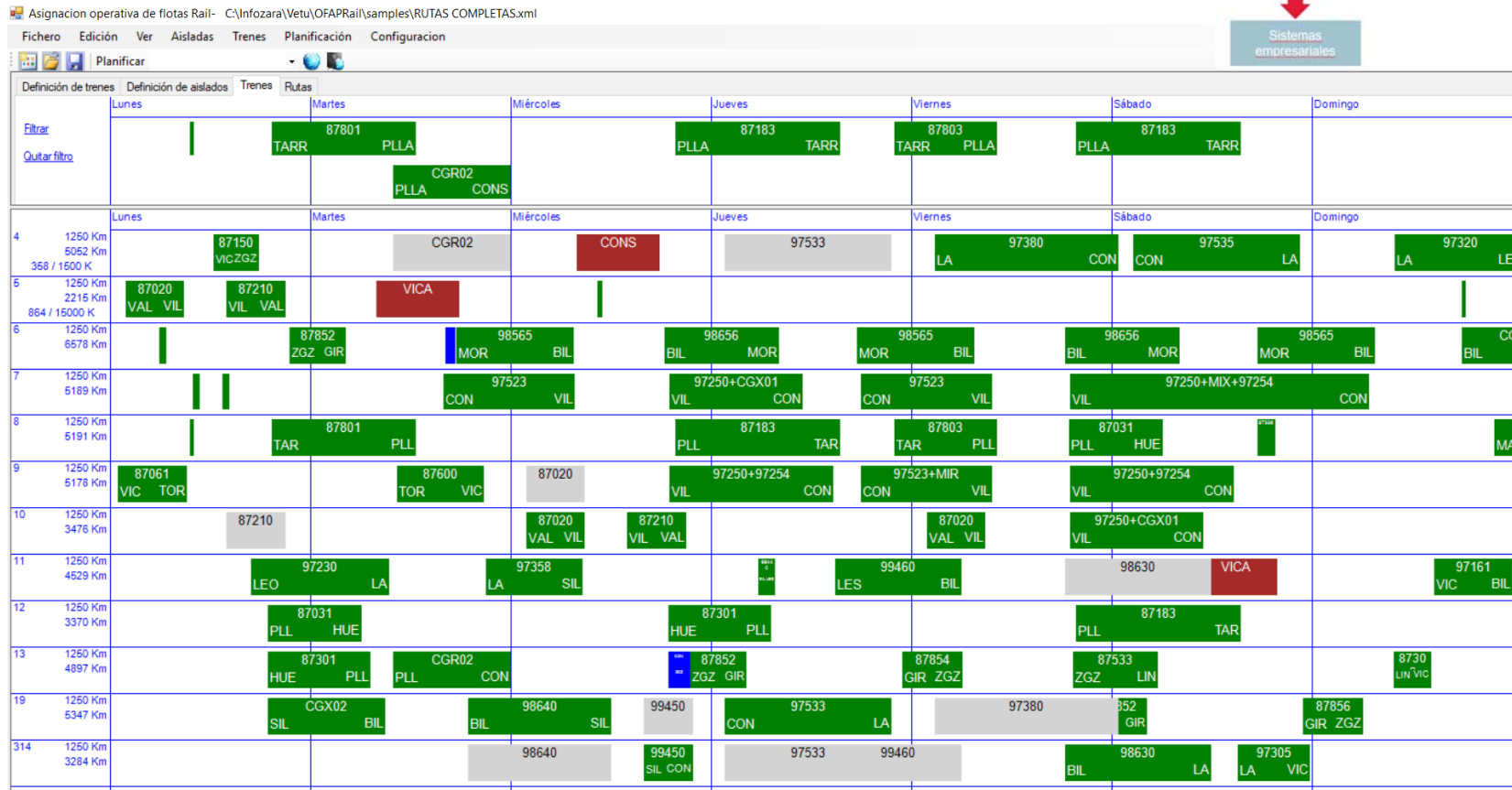
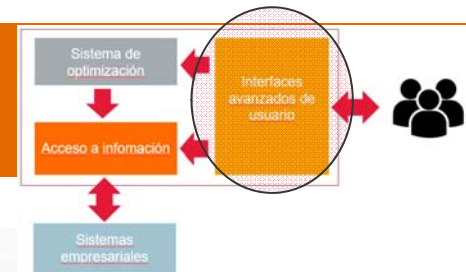


Vamos a ver un ejemplo de diagrama de Gantt



Sistema de asignación de recursos

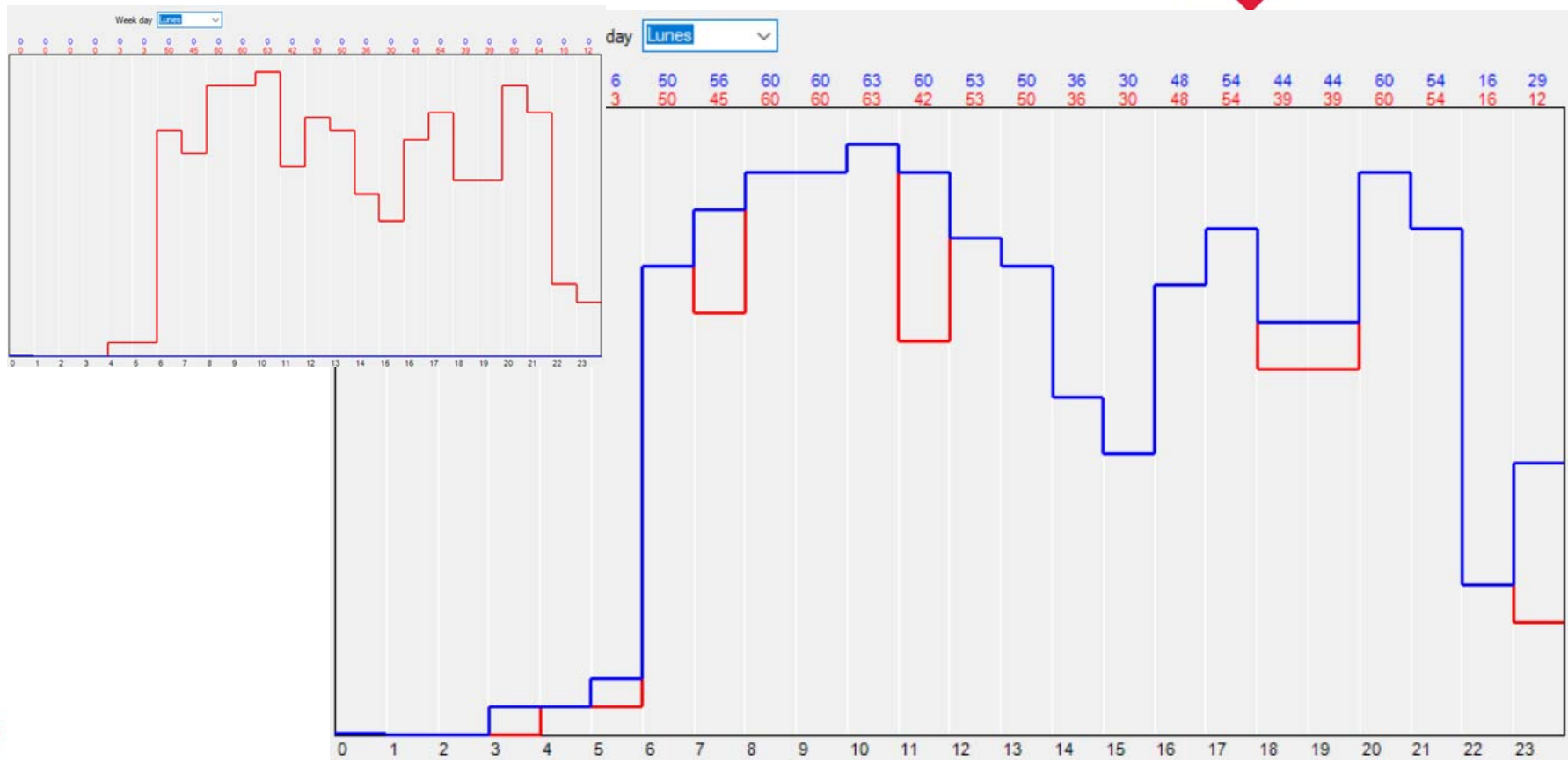
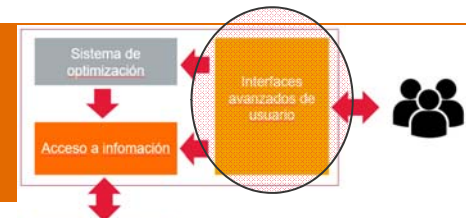
Diagrama de Gantt



Vamos a ver un diagrama Manhattan

Sistema de asignación de recursos

Diagrama Manhattan



Vamos a ver herramientas para optimizar

Sistema de asignación de recursos

Sistema de optimización

Herramientas según la técnica de resolución



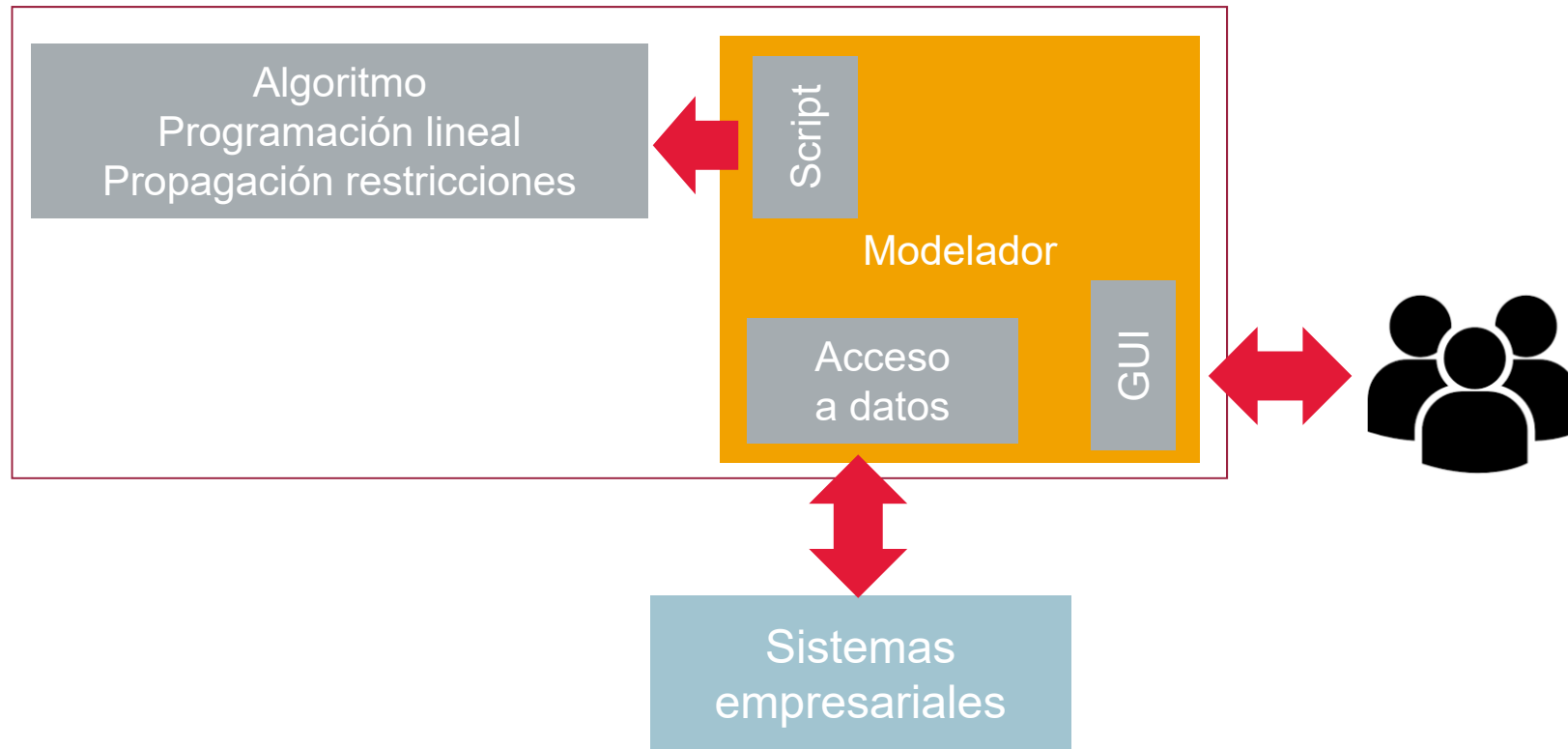
	Programación lineal	Solver Gurobi, IBM ILOG CPLEX GLPK, CBC, GLOP, CLP, CSIP	
	Propagación de restricciones	Motor de propagación de restricciones IBM CPLEX CP Optimizer Gecode, JaCoP, JSolver, CP Solver	
	Heurística	Software específico, desarrollado a medida Seguramente apoyado en un motor de propagación	
	Metaheurística	Frameworks, bibliotecas de desarrollo TEA, Open Beagle, Open TS, ACOTSP ...	

Vamos a ver los modeladores



Sistema de asignación de recursos

Modelador



Vamos a conocer los principales modeladores

Sistema de asignación de recursos

Modeladores

Principales herramientas del mercado



IBM ILOG CPLEX Optimization Studio



Copyright (c) 1993–2015 by AIMMS B.V. All rights reserved
Copyright © GAMS Development Corporation
© Copyright IBM Corp. 1987, 2017

Vamos a ver opciones de implantación



Sistema de asignación de recursos

Las opciones de proyecto

Modelador

Gran parte del trabajo esta hecha

Sistema generalista

Lenguaje de modelado específico

Es un Sistema más, que se debe integrar con los demás

Licencias caras

Dependencia total de la herramienta

Producto

Resuelve un problema concreto

Empresas del mismo sector presenta problemas diferentes

Sencillo valorar un prototipo
Requiere adaptaciones

Dependencia total del proveedor

Integración con sistemas empresariales

A medida

Es parte de los sistemas empresariales

Libertad total de desarrollo

Prototipos costosos y reducidos

Proyectos largos

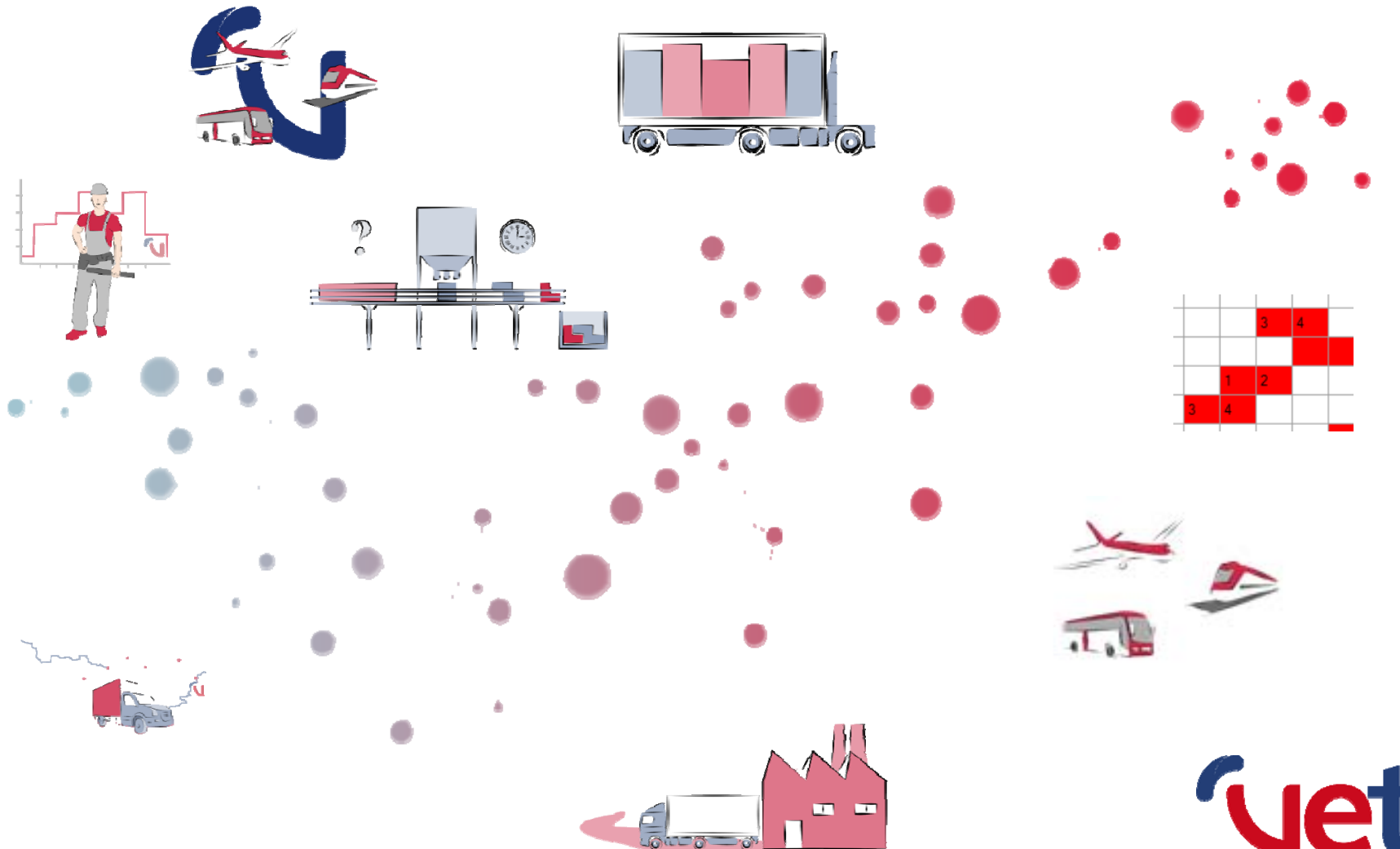
Proyectos de riesgo

Vamos a ver escenarios de asignación de recursos



Escenarios

Asignación de recursos



Escenarios de asignación de recursos

Sistema productivo

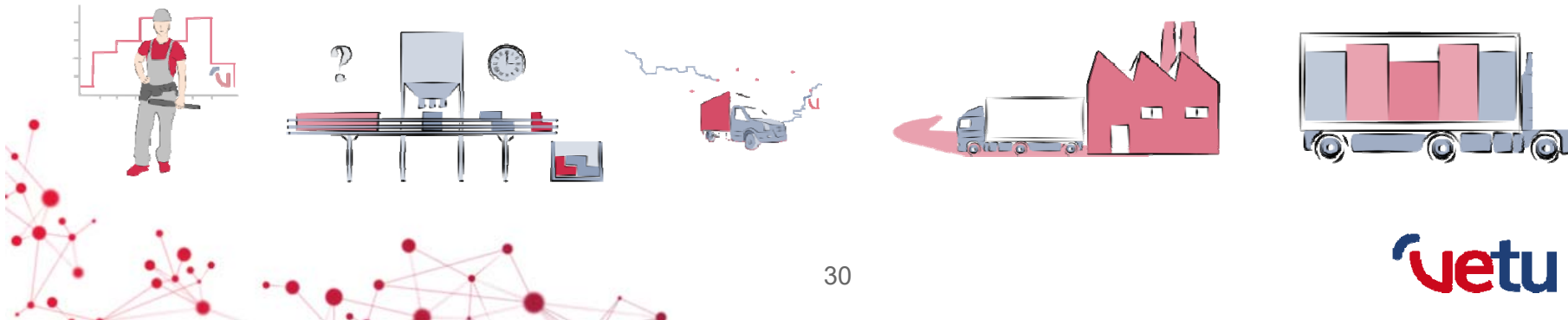
Fabricación, transporte, almacén, distribución

Estratégico

- ¿Cuánto fabricar de cada producto las fábricas?
- ¿Desde qué fábrica se envía a cada almacén?
- ¿Dónde colocar los almacenes y cross-docks?
- ¿Qué maquinas se necesitan en cada fábrica?
- ¿Cuántos camiones son necesarios?
- ¿Cuántos empleados son necesarios?

Operativo

- Plan de producción
- Rutas de transporte y distribución
- Vacaciones del personal
- Turnos de personal



Escenarios de asignación de recursos

Transporte aéreo

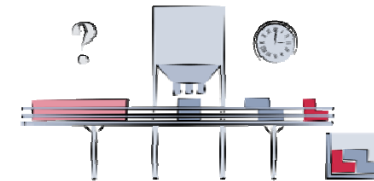
Gestión aeroportuaria, plan de vuelos, handling

Estratégico

- ¿Dimensión del aeropuerto?
- ¿Cuánto aviones de cada tipo?
- ¿Horario de los vuelos?
- ¿Plantilla de handling?
- ¿Maquinaria de handling?
- ¿Vacaciones de personal?

Operativo

- Asignación de infraestructura aeropuerto
- Asignación de flotas
- Turnos de personal de cabina
- Operaciones de mantenimiento de aviones
- Turnos de personal de handling
- Planificación de maquinaria de handling



Escenarios de asignación de recursos

Transporte de mercancías por ferrocarril

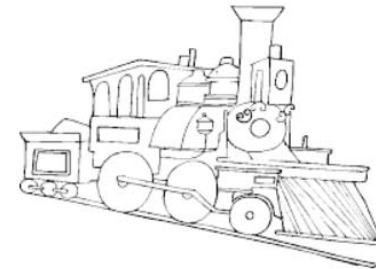
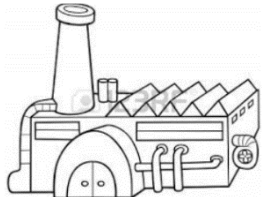
Asignación de locomotoras, turnos de personal, asignación de contenedores

Estratégico

- ¿Composición de la flota de locomotoras?
- ¿Cantidad de plataformas de cada tipo?
- ¿Horarios de trenes?
- ¿Plantilla de estaciones?
- ¿Maquinistas?
- ¿Vacaciones de personal?

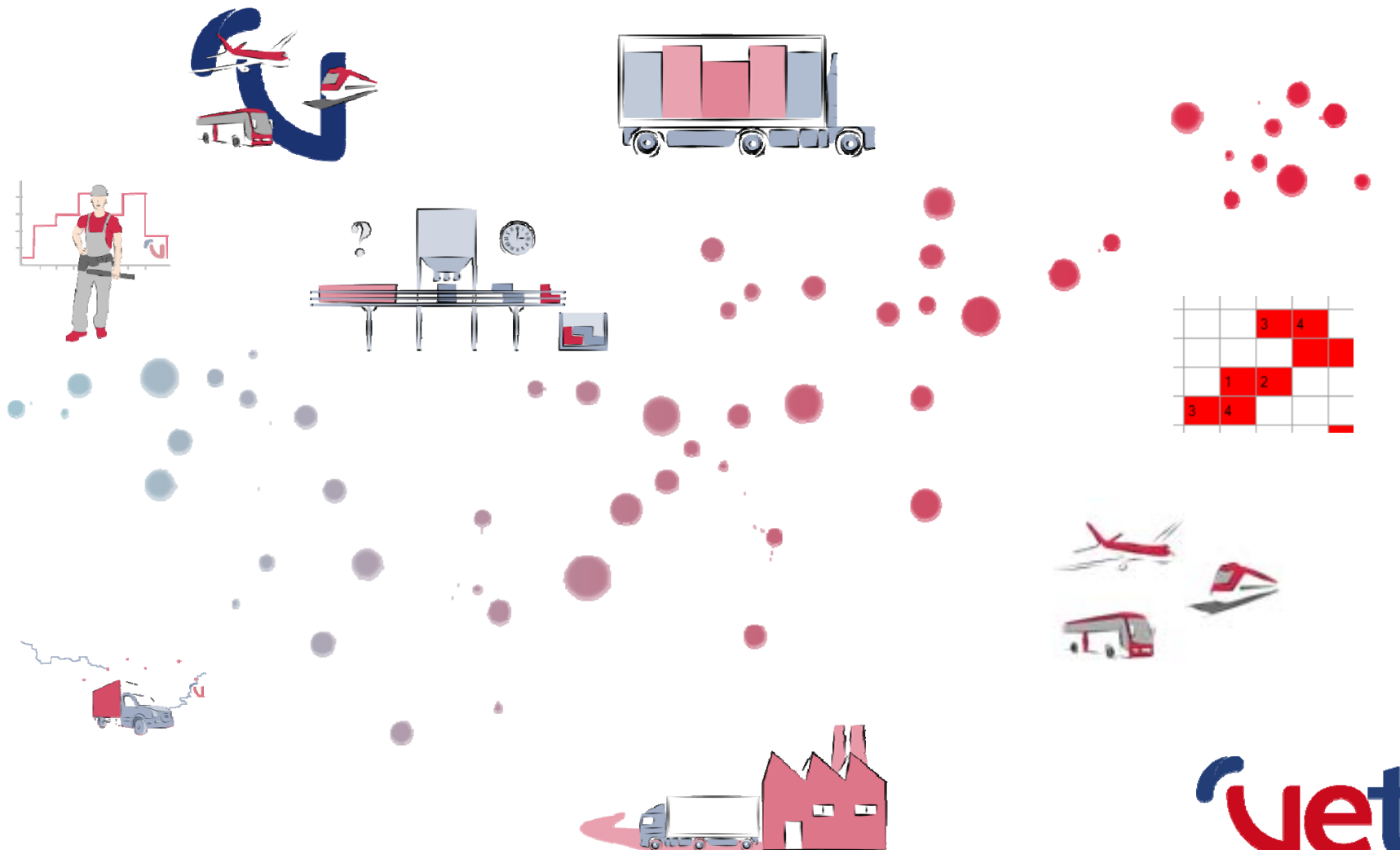
Operativo

- Asignación de flotas
- Mantenimiento de locomotoras
- Colocar contenedores en el tren
- Gestión de contenedores en la estación
- Rutas de camiones
- Turnos de maquinistas
- Turnos del personal de estación



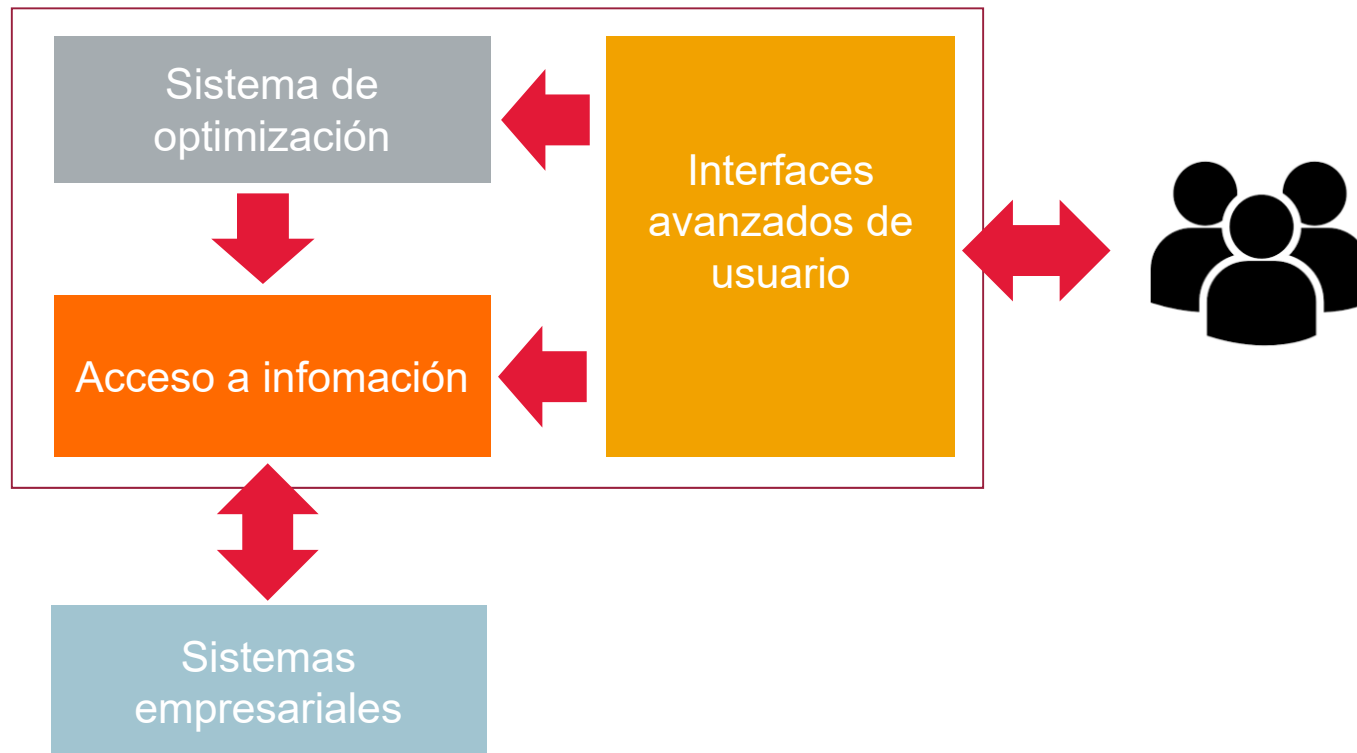
Arquitectura

Sistemas de asignación de recursos



Arquitecturas de sistemas de asignación de recursos

Módulos principales

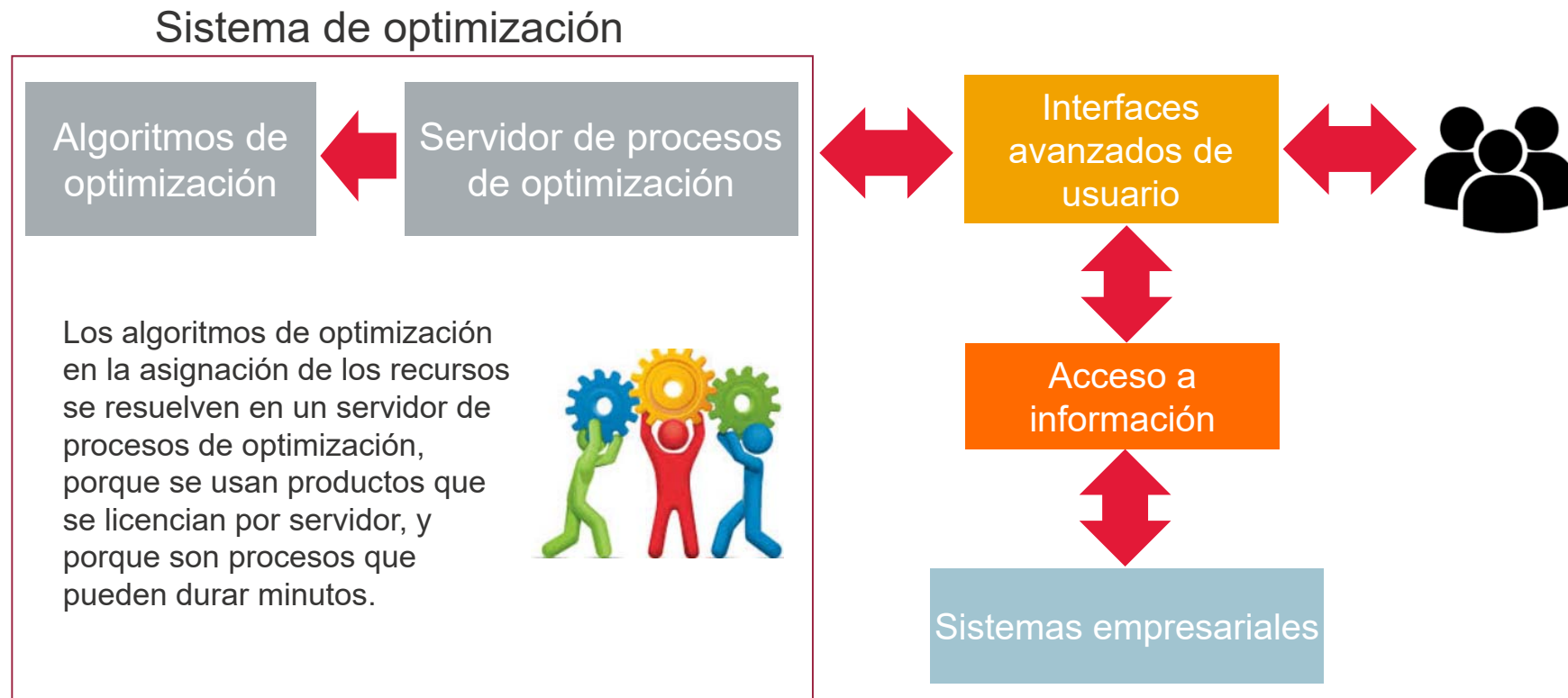


Vamos a ver el sistema de optimización con detalle



Arquitecturas de sistemas de asignación de recursos

Detalles del sistema de optimización



Vamos a ver con detalle el algoritmo de optimización

Arquitecturas de sistemas de asignación de recursos

Algoritmos de optimización por programación lineal

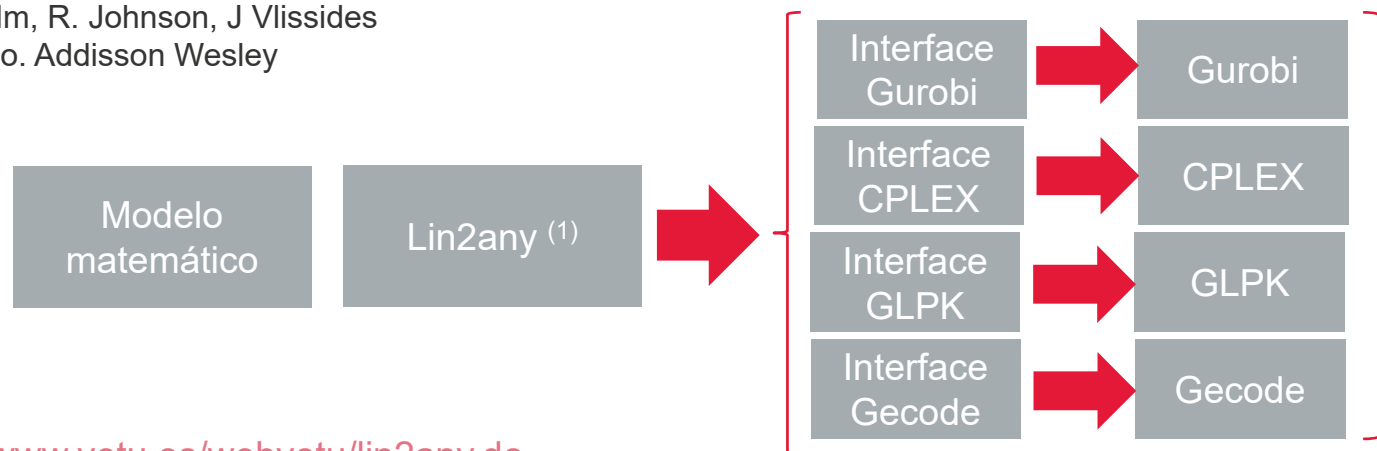


Algoritmo de programación lineal independiente del solver

Patrón de diseño Bridge

E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, J Vlissides

Patrones de diseño. Addison Wesley

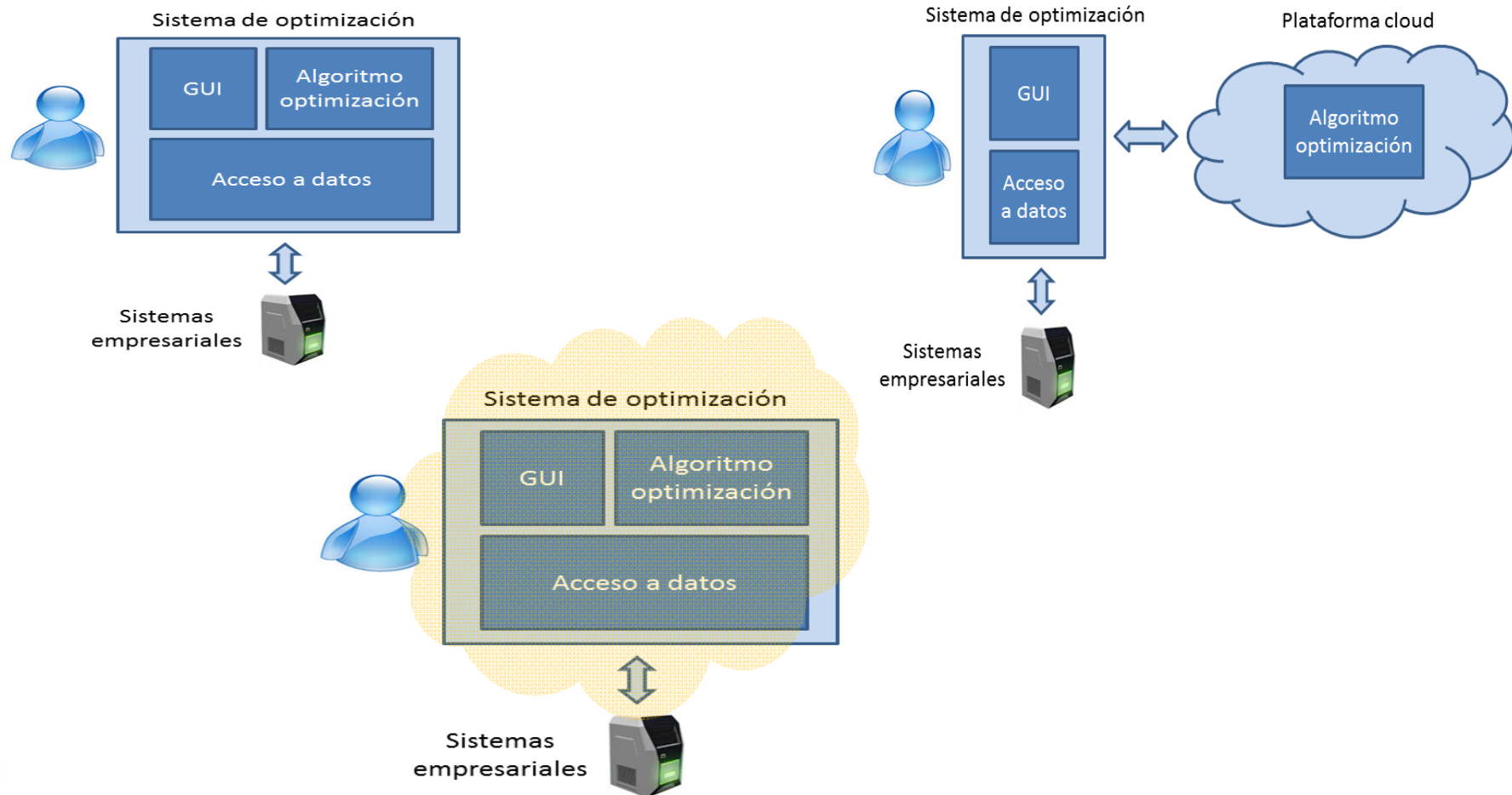


(1) <http://www.vetu.es/webvetu/lin2any.do>

Vamos a ver arquitecturas en producción

Arquitecturas de sistemas de asignación de recursos

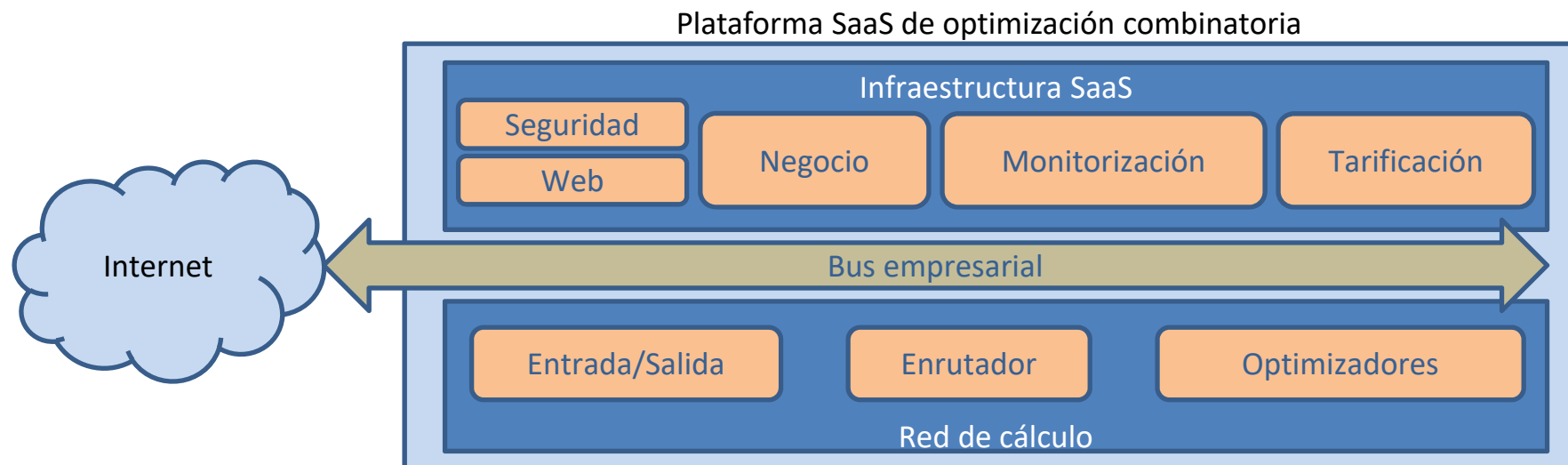
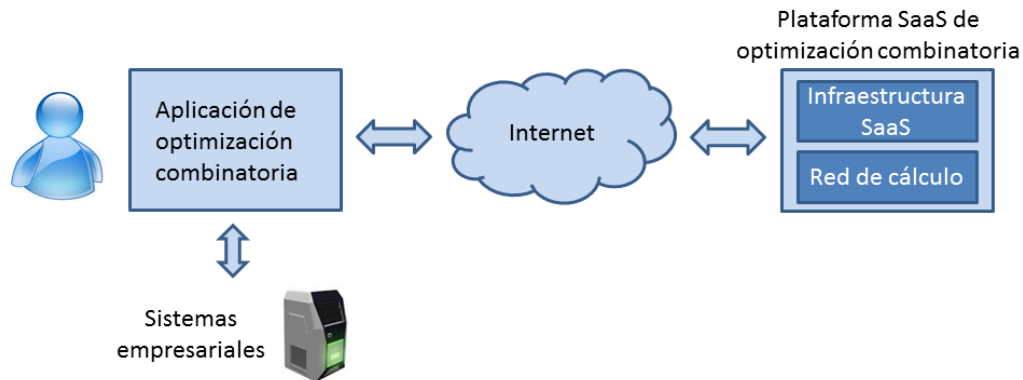
Arquitecturas en producción



Vamos a ver el detalle de la plataforma SaaS de cálculo

Arquitecturas de sistemas de asignación de recursos

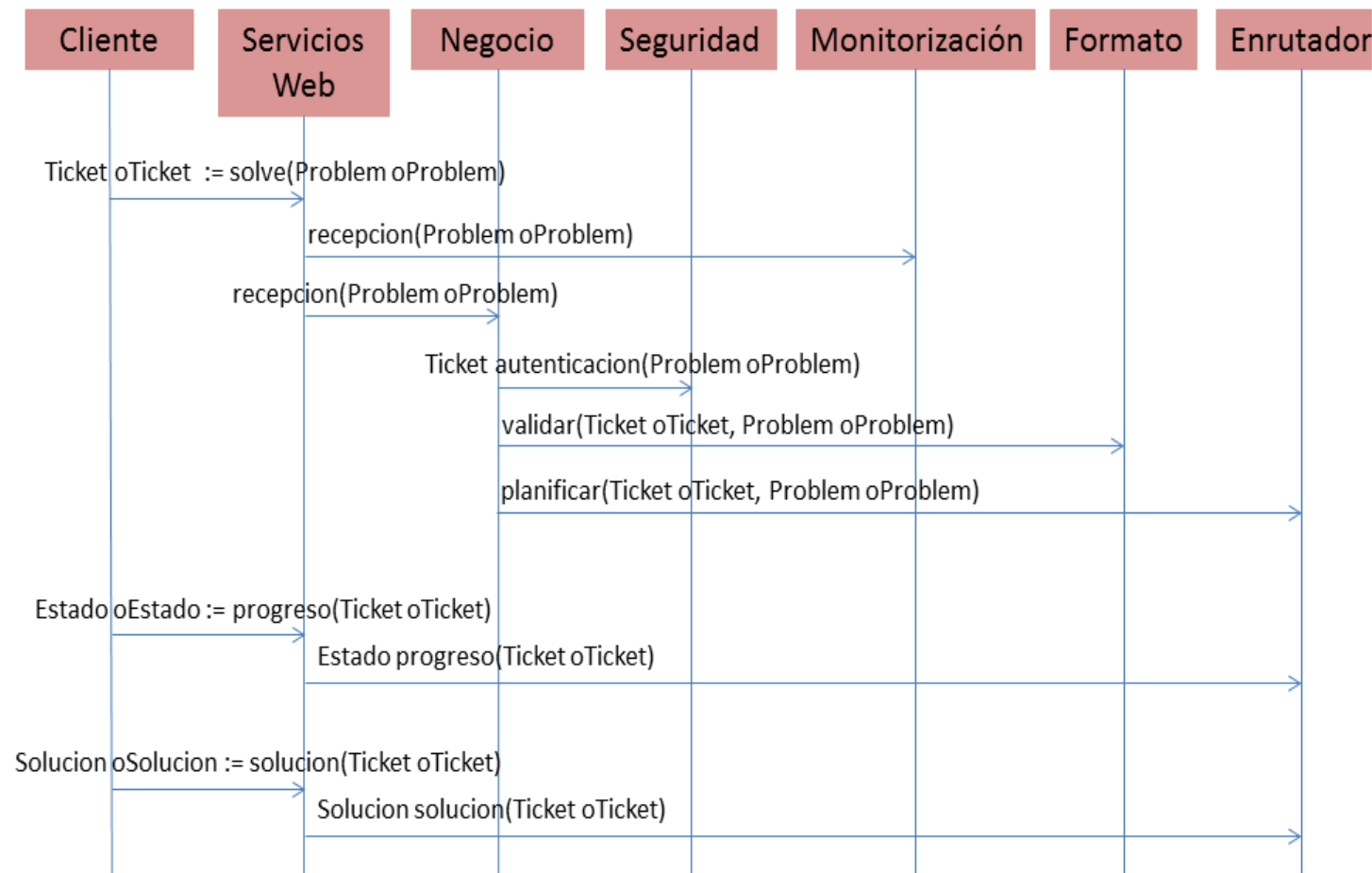
Plataforma SaaS para resolución de problemas



Vamos a ver la interacción de componentes

Arquitecturas de sistemas de asignación de recursos

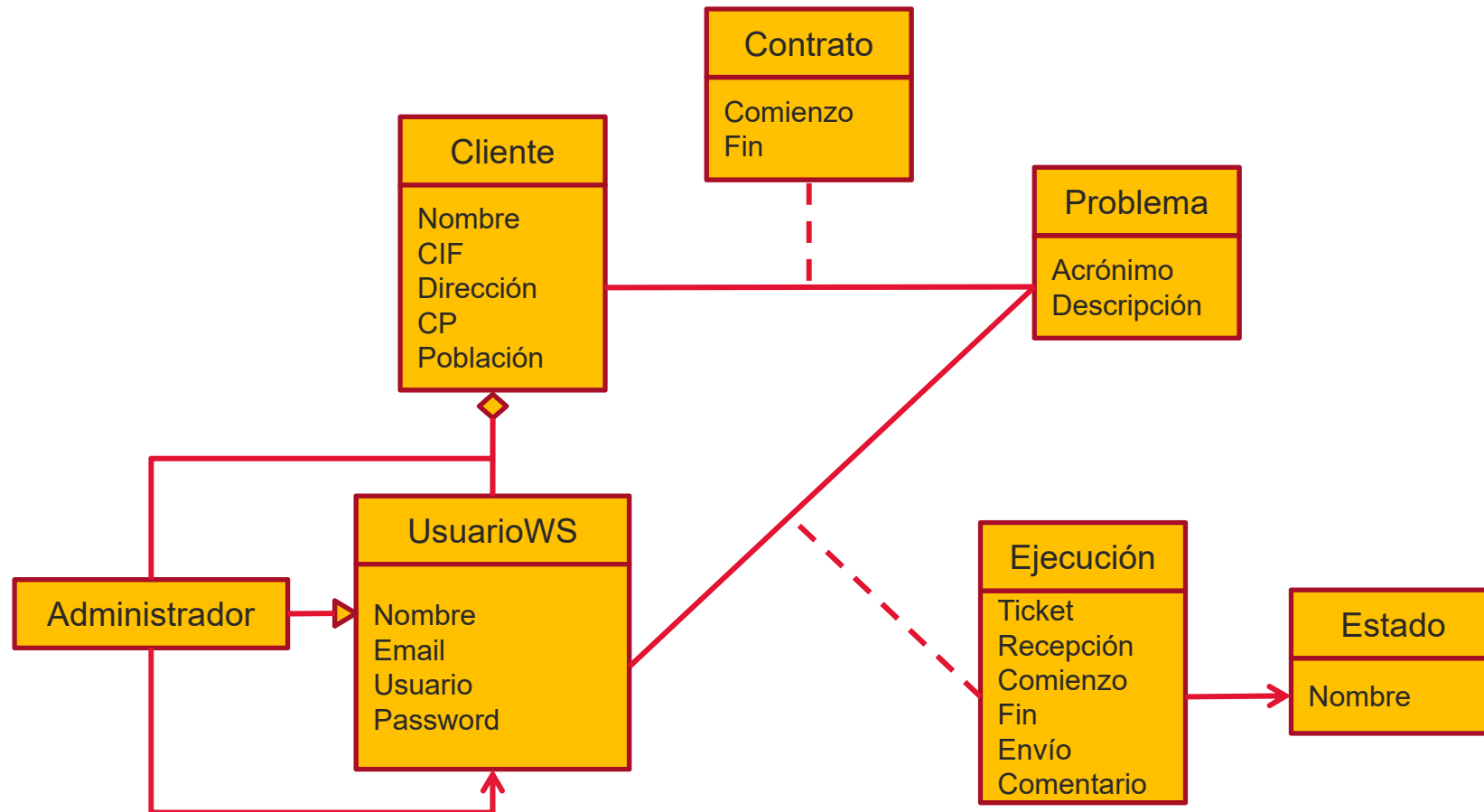
Interacción de componentes de la plataforma SaaS



Vamos a ver el modelo de negocio

Arquitecturas de sistemas de asignación de recursos

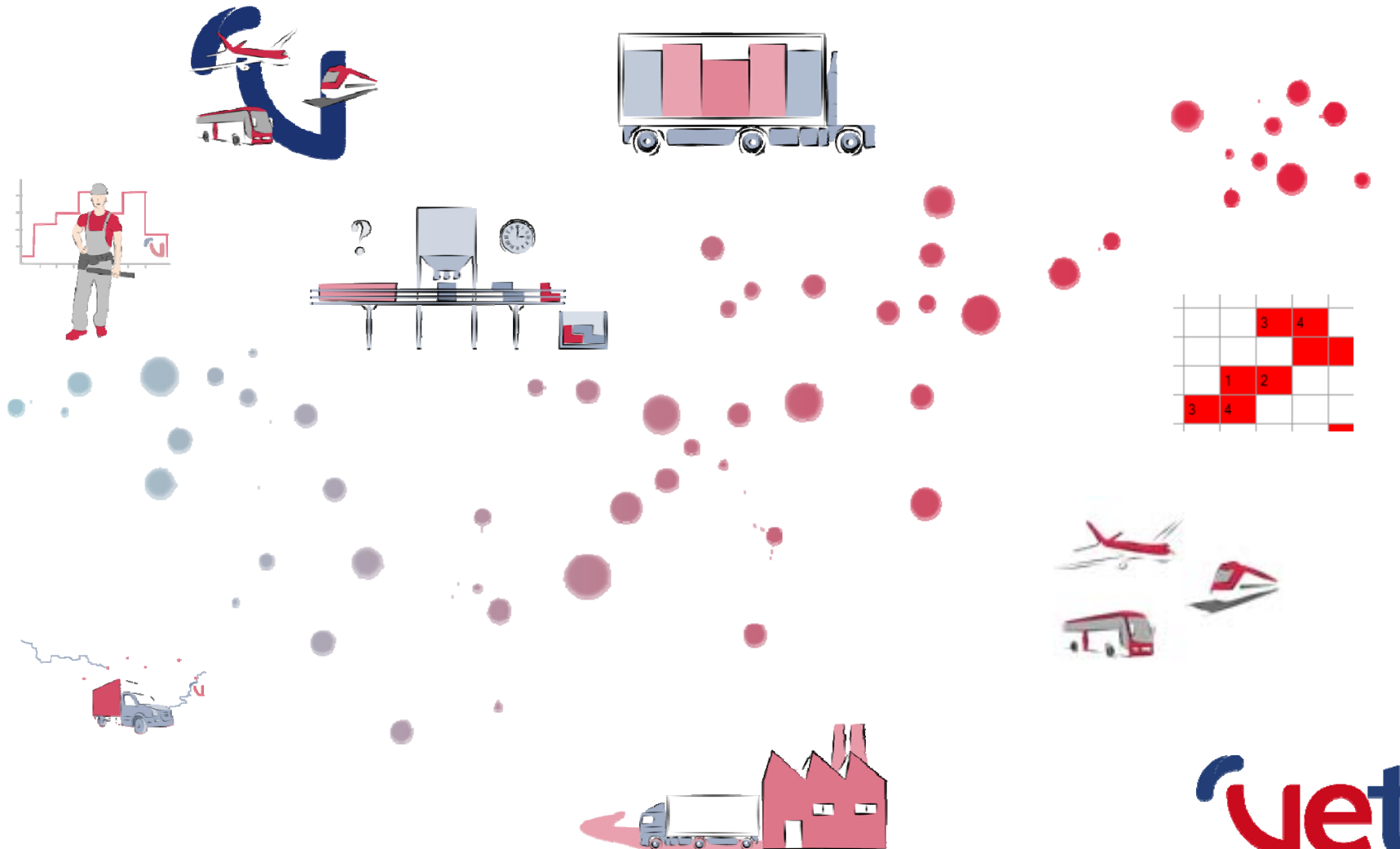
Modelo de negocio de la plataforma SaaS



Hemos terminado con las arquitecturas

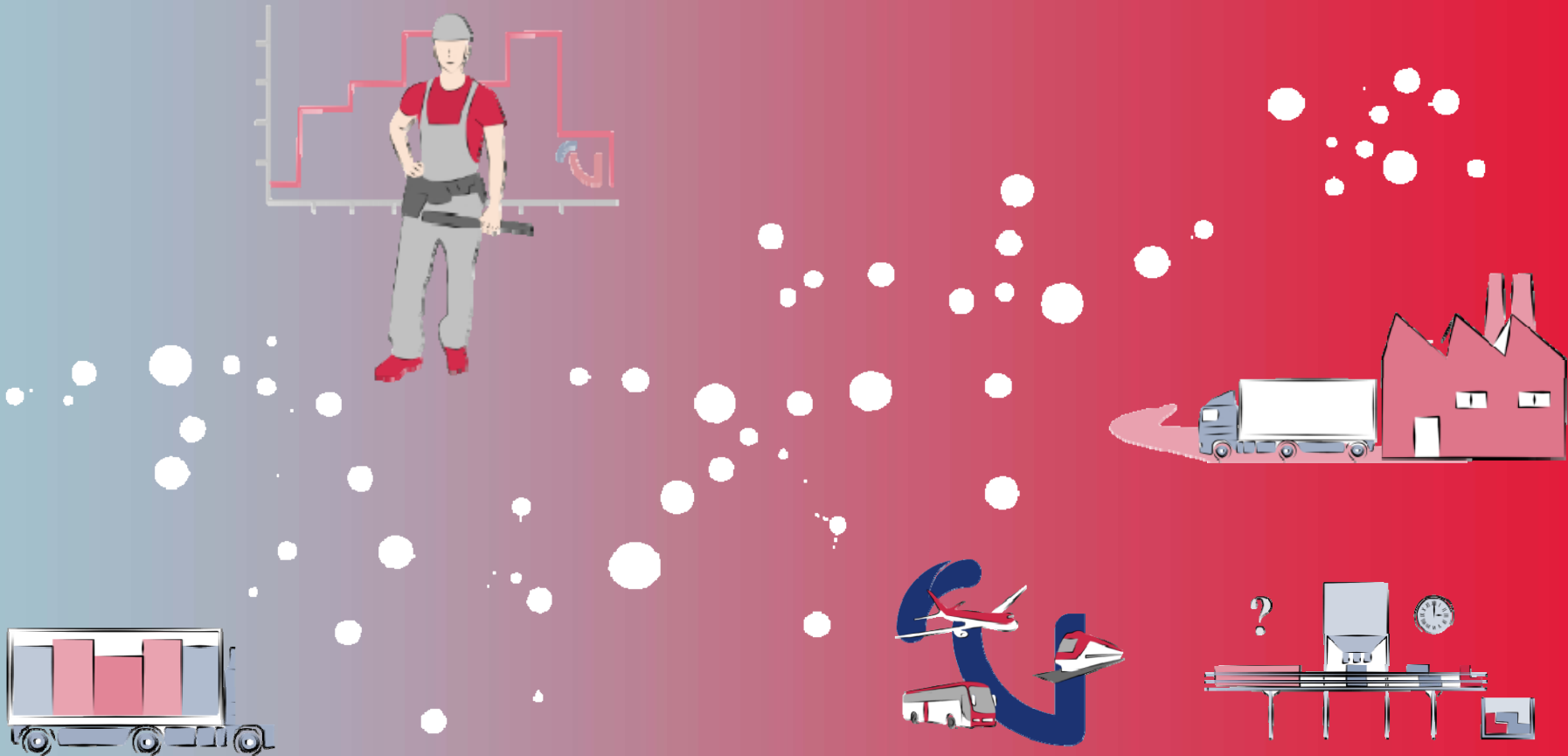
Problemas

Sistemas de asignación de recursos



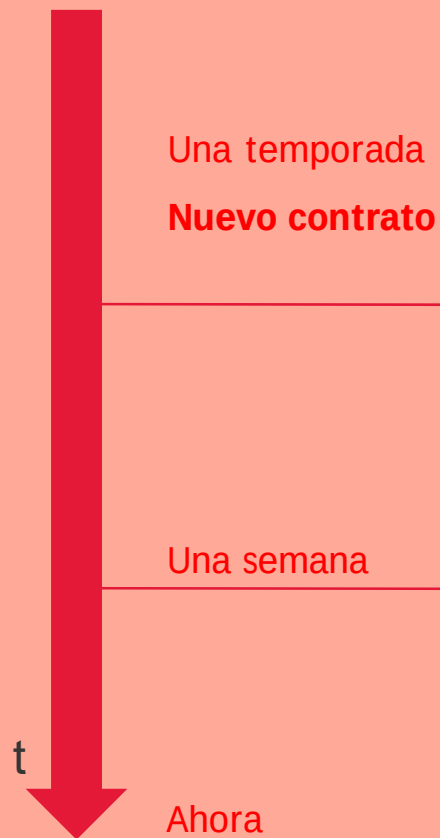
Problemas de asignación de recursos

Planificación de personal



Problemas de planificación de personal

Horizonte temporal



Planificación estratégica, táctica

Largo plazo

- **Definición de la plantilla de trabajadores**
 - Definición de los contratos
 - Cantidad de trabajadores por contrato
- **Planificación de vacaciones**



Planificación operativa

Cercana a la operativa

Cuadrante de turnos

Asignación de actividades



Replanificación

Tiempo real

Modificación de turnos

Asignación de actividades según operativa



Veamos los tipos de problemas y los algoritmos



Problemas de planificación de personal

Problemas diferentes -> Algoritmos diferentes

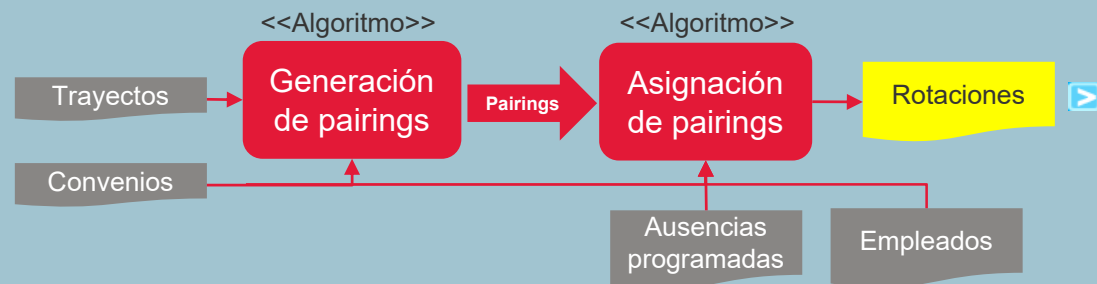


El trabajador cambia de localidad

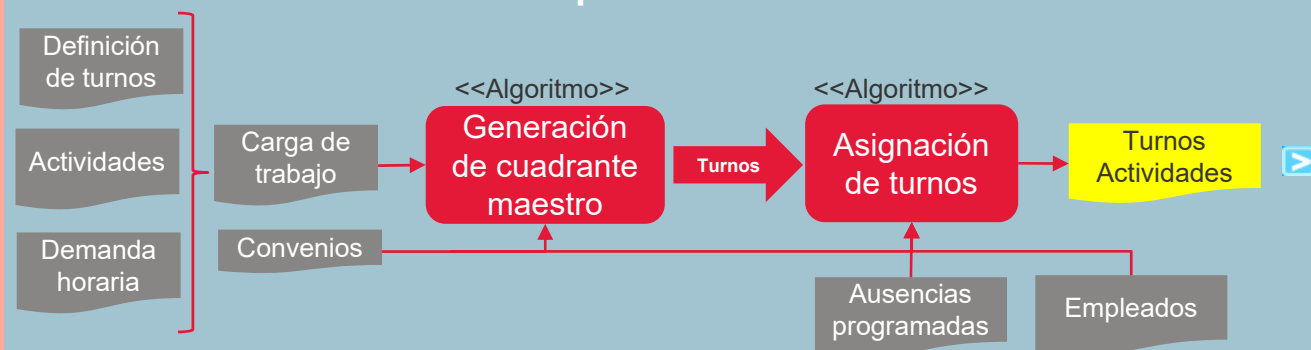


El trabajador permanece en el centro de trabajo

Planificación por actividades



Planificación por turnos o actividades



Veamos la generación de cuadrantes

Cuadrantes de personal

La carga de trabajo



Turnos



Actividades
(en el sitio)



Carga de
trabajo
temporal

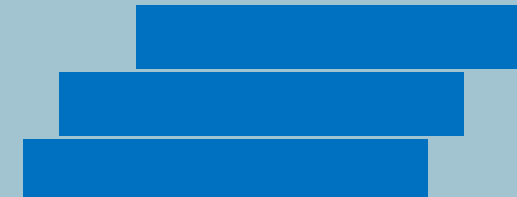
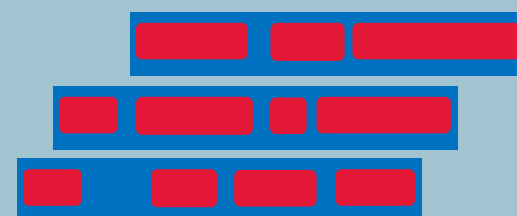
Carga de trabajo

	L	M	X	J	V	S	D
M	1	1	2	1	1	0	1
T	1	1	1	1	1	1	1
N	0	0	1	1	1	2	1



Cuadrante de turnos

L	M	X	J	V	S	D
D	D	M	M	M	T	T
T	D	N	N	D	D	M
M	M	M	D	N	N	D
D	T	T	T	T	N	N



Veamos las vacaciones



Problemas de planificación de personal

Asignación de vacaciones con igualdad social

Ausencias programadas

Vacaciones

Garantizar servicio

Beneficio social

Servicio

Convenios

<<Algoritmo>>

Asignación de vacaciones

Vacaciones

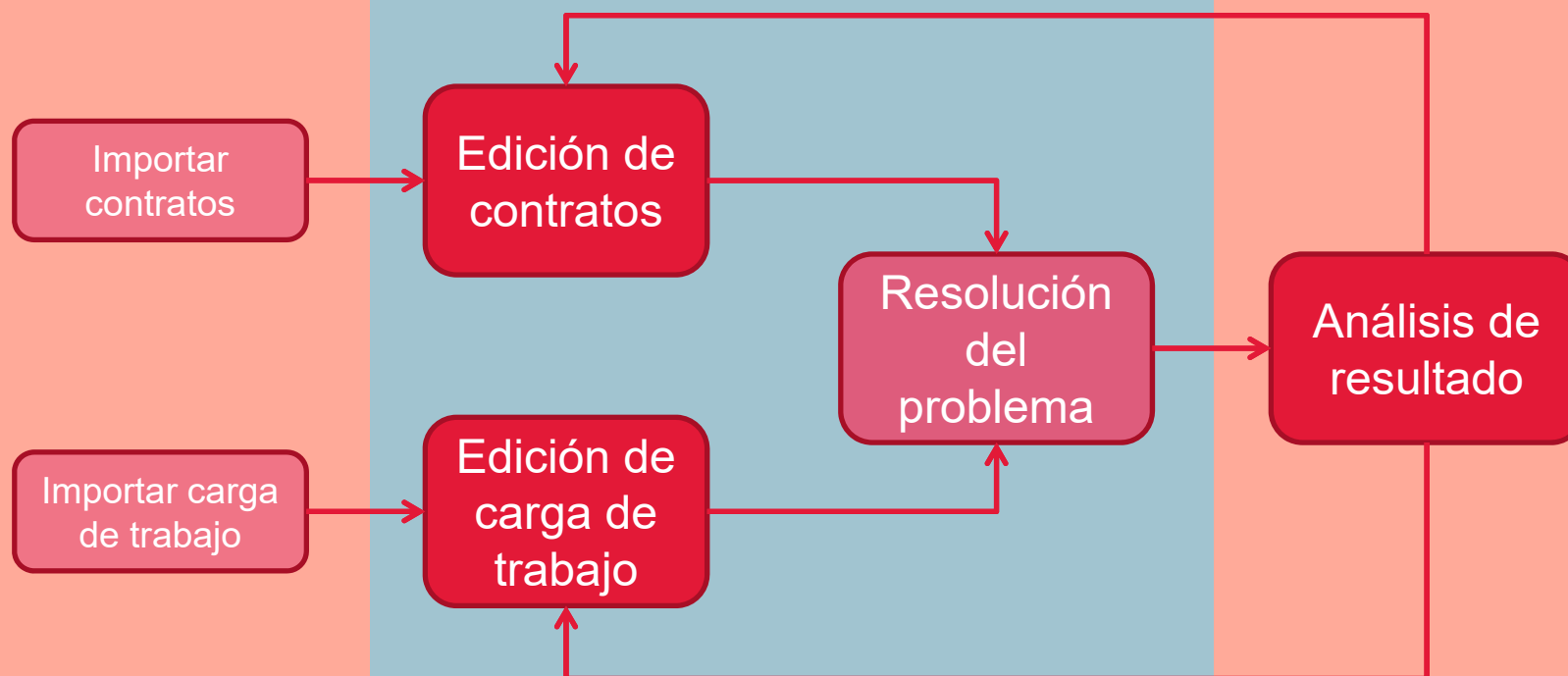
Preferencias



No son solo algoritmos 'caja negra'

Planificación táctica de personal en detalle

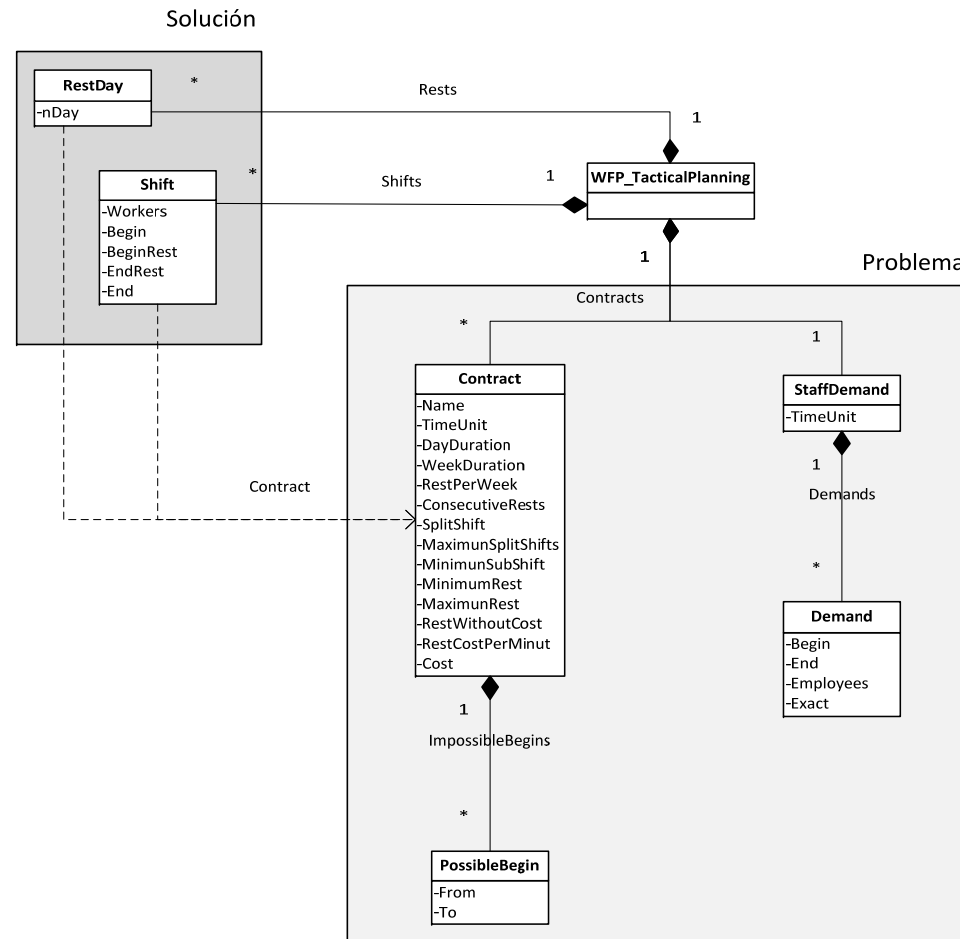
Sistema de apoyo a la toma de decisiones



Veamos el modelo de negocio

Planificación táctica de personal en detalle

Modelo de negocio



Veamos los contratos al detalle

Planificación táctica de personal en detalle

Modelo de negocio: definición de contrato

Parámetro	Descripción	Tipo
Name	Nombre del contrato.	Texto
TimeUnit	Intervalo horario al que pueden comenzar las jornadas de trabajo, expresado en minutos.	Entero
DayDuration	Duración de la jornada diaria de trabajo, expresado en minutos.	Entero
RestsPerWeek	Cantidad de días de descanso semanales.	Entero
ConsecutiveRests	Indica si los días de descanso deber ir seguidos.	Booleano
SplitShift	Indica si se pueden asignar jornadas partidas a los trabajadores de este tipo de contrato.	Booleano
MaximunSplitShifts	Cantidad máxima de jornadas partidas que puede realizar a la semana un trabajador de este tipo de contrato.	Entero
MinimunSubShfit	Duración mínima de las dos subjornadas que se realizan en una jornada partida, expresada en minutos.	Entero
MinimumRest	Duración mínima del descanso en una jornada partida, expresada en minutos. Solo aplica si SplitShift = true.	Entero
MaximumRest	Duración máxima del descanso en una jornada partida, expresada en minutos.	Entero
RestWithoutCost	Duración del descanso que no genera coste, expresada en minutos.	Entero
RestCostPerMinut	Coste por minuto del descanso de la jornada partida que genera coste, expresada en unidad monetaria por minuto.	Entero
Cost	Coste de la jornada, expresado en unidad monetaria.	Entero
PossibleBegins	Lista de posibles comienzos de las jornadas de trabajo de este contrato.	Lista

Podemos pensar en las variables del problema

Problema de planificación táctica de personal

Preparación para el modelo de programación lineal

Contratos

Parámetro	Valor
Duración jornada	08:00
Mínima subjornada	03:00
Mínimo descanso	01:00
Máximo descanso	02:00
Coste jornada	60 €
Coste descanso	5 €

Patrones de tipo de jornada

1ª Parte	Descanso	2ª Parte	Coste
03:00	01:00	05:00	60
03:00	02:00	05:00	65
04:00	01:00	04:00	60
04:00	02:00	04:00	65
05:00	01:00	03:00	60
05:00	02:00	03:00	65

Patrones de jornada de trabajo

Comienzo	1ª Parte	Descanso	2ª Parte	Coste
06:00	03:00	01:00	05:00	60
06:00	03:00	02:00	05:00	65
06:00	04:00	01:00	04:00	60
...				
07:00	03:00	01:00	05:00	60
07:00	03:00	02:00	05:00	65
07:00	04:00	01:00	04:00	60

Parámetro	Valor
Duración jornada	08:00
Mínima subjornada	03:00
Mínimo descanso	01:00
Máximo descanso	02:00
Coste jornada	60 €
Coste descanso	5 €

1ª Parte	Descanso	2ª Parte	Coste
03:00	01:00	05:00	60
03:00	02:00	05:00	65
04:00	01:00	04:00	60
04:00	02:00	04:00	65
05:00	01:00	03:00	60
05:00	02:00	03:00	65

Comienzo	1ª Parte	Descanso	2ª Parte	Coste
06:00	03:00	01:00	05:00	60
06:00	03:00	02:00	05:00	65
06:00	04:00	01:00	04:00	60
...				
07:00	03:00	01:00	05:00	60
07:00	03:00	02:00	05:00	65
07:00	04:00	01:00	04:00	60

Veamos el modelo matemático 'de palabra'

Problema de planificación táctica de personal

Preparación para el modelo de programación lineal

Contratos

Parámetro	Valor
Duración jornada	08:00
Descanso semanal seguido	SI

Patrones de descanso

L	M	X	J	V	S	D
D	D					
	D	D				
		D	D			
			D	D		
				D	D	
					D	D

Parámetro	Valor
Duración jornada	08:00
Descanso semanal seguido	NO

L	M	X	J	V	S	D
D	D					
D		D				
D			D			
D				D		
D					D	
D						D
	D	D				
	D		D			

L	M	X	J	V	S	D
	D			D		
	D				D	
	D					D
		D	D			
		D		D		
		D			D	
		D				D
			D	D		

L	M	X	J	V	S	D
			D		D	
			D			D
				D	D	
				D		D
					D	D

Veamos el modelo matemático 'de palabra'

Problema de planificación táctica de personal

Modelo matemático en palabras

Minimizar el coste de la plantilla de trabajo

De forma que:

- Se cubre la demanda de carga de trabajo en cada hora

- Para cada tipo de contrato:

 - Ningún día hay más jornadas que trabajadores

 - La cantidad de jornadas partidas tiene relación con los trabajadores

 - La cantidad de jornadas tiene relación con los descansos

 - Cantidad mínima de trabajadores

 - Cantidad máxima de trabajadores

 - Cantidad exacta de trabajadores

Veamos el modelo matemático



Problema de planificación táctica de personal

Modelo matemático compacto

Conjuntos:

- F Franjas horarias de una semana, que corresponden a la menor franja horaria definida para los contratos y para la demanda de carga de trabajo.
- F^m Franjas horarias de una semana que definen una demanda de carga de trabajo mínima.
- F^e Franjas horarias de una semana que definen una demanda de carga de trabajo exacta.
- D^m Demandas de carga de trabajo mínimas para las franjas horarias de F^m
- D^e Demandas de carga de trabajo exactas para las franjas horarias de F^e
- C Definiciones de contratos
- J^c Patrones de jornada que se generan de la definición del contrato $c \in C$
- J_f^c Jornadas del contrato $c \in C$ que trabajan durante la franja horaria $f \in F$
- K_d^c Patrones de jornada de contrato $c \in C$ que trabajan en el día $d \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- S^c Patrones semanales del tipo de contrato $c \in C$
- S_d^c Patrones semanales del tipo de contrato $c \in C$ que trabajan en el día $d \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

Sigue el modelo matemático



Problema de planificación táctica de personal

Modelo matemático compacto

Parámetros:

c_p^c Coste de la de jornada con patrón $p \in J^c$ del contrato $c \in C$

D_h Demanda de trabajadores en la franja horaria $h \in F$

MI^c Número mínimo de trabajadores para el contrato $c \in C$

MA^c Número máximo de trabajadores para el contrato $c \in C$

EX^c Número exacto de trabajadores para el contrato $c \in C$

MS^c Número máximo de jornadas partidas que se pueden asignar a la semana para un trabajador suscrito al contrato $c \in C$

Variables enteras:

$X_{p,f}^c$ Cantidad de jornadas del contrato $c \in C$ correspondientes al patrón $p \in J^c$ que comienzan en la franja horaria $f \in F$, $X_{p,f}^c \geq 0$

Y_q^c Cantidad de patrones semanales del contrato $c \in C$ y del tipo $q \in S^c$, $Y_q^c \geq 0$

Sigue el modelo matemático



Problema de planificación táctica de personal

Modelo matemático compacto

$$\text{Min } \sum_{c \in C} \sum_{p \in J^c} \sum_{f \in F} c_p^c X_{p,f}^c$$

s. a:

$$\sum_{c \in C} \sum_{p \in J^c} X_{p,f}^c \geq D_h \quad \text{donde } f \in J_f^c, \text{ para todo } h \in F^m$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{p \in J^c} X_{p,f}^c = D_h \quad \text{donde } f \in J_f^c, \text{ para todo } h \in F^e$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{q \in S_q^c} Y_q^c = \sum_{c \in C} \sum_{p \in K_d^c} X_{p,f}^c \quad \forall d \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

$$\sum_{p \in J^c} \sum_{f \in F} X_{p,f}^c \leq MS^c \sum_{q \in S^c} Y_q^c \quad \forall c \in C$$

$$\sum_{q \in S^c} Y_q^c \leq MA^c \quad \forall c \in C$$

$$\sum_{q \in S^c} Y_q^c \geq MI^c \quad \forall c \in C \quad \sum_{q \in S^c} Y_q^c = EX^c \quad \forall c \in C$$

Veamos la resolución

Problema de planificación táctica de personal

Resolución

```
C:\Infozara\Vetu\TWFP\solver\SolverTWFP MEDIO MINUTO.exe
Resolviendo el problema ...

    Hay 60 patrones semanales y 4633 patrones de jornada
    Patrones semanales ...
    Patrones de jornada ...
    Restricciones ...
    Funcion objetivo ...

Variables: 4693
Restricciones: 164

Solver ...

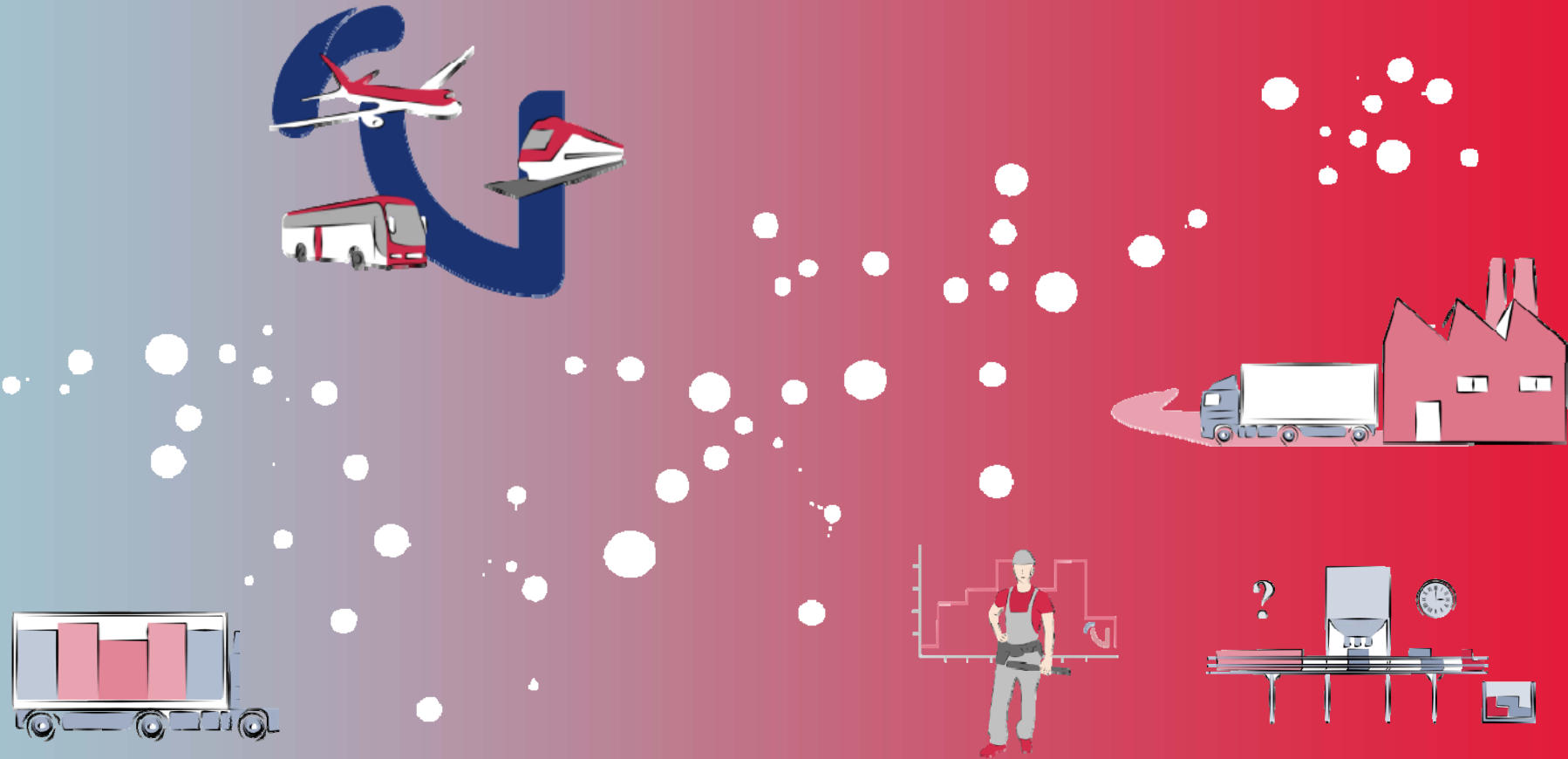
    0:  objval =  0.000000000e+00   infeas =  1.000000000e+00 (21)
    198: objval =  5.635389311e+04   infeas =  2.450970369e-18 (0)
*   198: objval =  5.635389311e+04   infeas =  1.281857503e-14 (0)
*   200: objval =  5.605355101e+04   infeas =  1.776356839e-15 (0)
*   400: objval =  4.178677879e+04   infeas =  3.680885800e-16 (0)
*   520: objval =  4.100970000e+04   infeas =  3.552713679e-14 (0)
OPTIMAL SOLUTION FOUND
Integer optimization begins...
+   520: mip2 =    not found yet >=          -inf          (1; 0)
+   958: mip2 =    not found yet >=  4.100970000e+04      (185; 0)
+  1428: mip2 =    not found yet >=  4.100970000e+04      (352; 0)
+  1982: mip2 =  4.138120000e+04 >=  4.100970000e+04    0.9% (494; 0)
+  2348: mip2 =  4.138120000e+04 >=  4.100970000e+04    0.9% (640; 21)
+  2649: mip2 =  4.138120000e+04 >=  4.100970000e+04    0.9% (808; 21)
+  3272: mip2 =  4.138120000e+04 >=  4.100970000e+04    0.9% (1002; 22)
+  3541: mip2 =  4.138120000e+04 >=  4.100970000e+04    0.9% (1077; 22)
TIME LIMIT EXCEEDED; SEARCH TERMINATED

Creando fichero solucion ...

Problema terminado_
```

Problemas de asignación de recursos

Rutas de vehículos



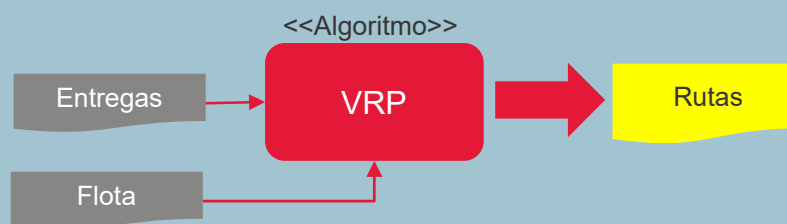
Problemas de asignación de vehículos

Rutas de vehículos y asignación de flotas



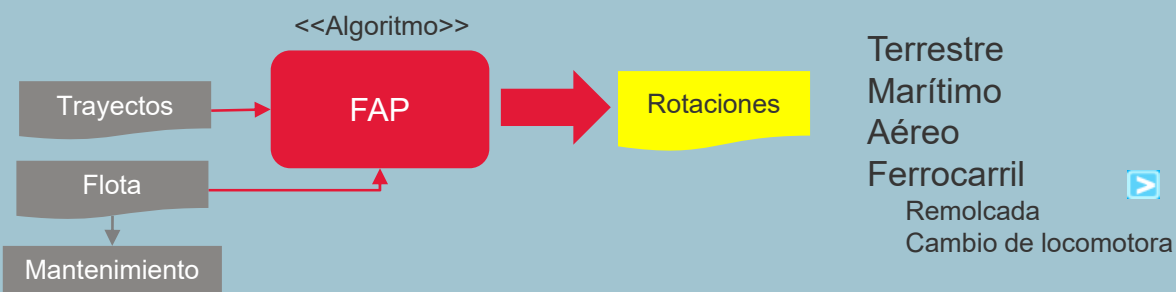
Mercancías

Problema de rutas de vehículos *Vehicle Routing Problem (VRP)*



Pasajeros

Problema de asignación de flotas *Fleet Assignment Problem (FAP)*



Vamos a ver un problema de contenedores

Problemas de asignación de flotas

Horizonte temporal



Una temporada
Nuevo contrato

Una semana

Ahora



Planificación estratégica, táctica

Largo plazo

- **Definición de la flota**
 - Cantidad de cada tipo de vehículo
 - Adquisición de vehículos
 - Horarios de los trayectos
- **Planificación de actividades de mantenimiento**



Planificación operativa

Cercana a la operativa

- **Rotaciones de los vehículos**
- **Asignación de actividades de mantenimiento**



Replanificación

Tiempo real

- **Modificación de rotaciones**
- **Asignación de trayectos según operativa**



Veamos los tipos de problemas de asignación de flotas



Problemas de asignación de flotas

Según el tipo de vehículo

General

Aviones

Camiones

Autobuses

Buques



Problema de asignación de flotas (FAP)

Flotas heterogéneas

Ventanas de tiempo en la salida

Trayectos en vacío (de posición)

Consumo por velocidad

Programación de mantenimiento



Locomotoras



Problema de asignación de locomotoras (LAP)

Rutas

Remolcadas

Remolcadas aisladas

Cambio de locomotora

Varias locomotoras por trayecto

Más
combinaciones

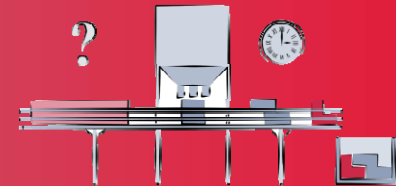
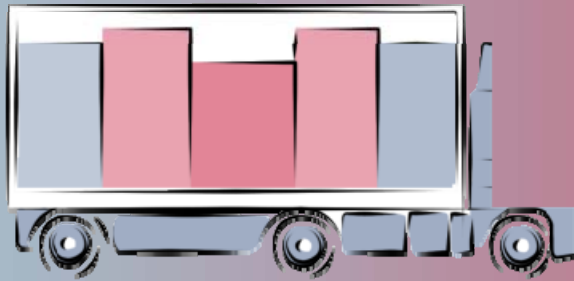


Veamos los tipos de problemas de asignación de flotas



Problemas de asignación de recursos

Asignación de contenedores



Problema de asignación de contenedores

Colocación de contenedores, composición de trenes



Problema de dos fases

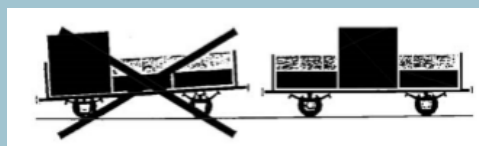
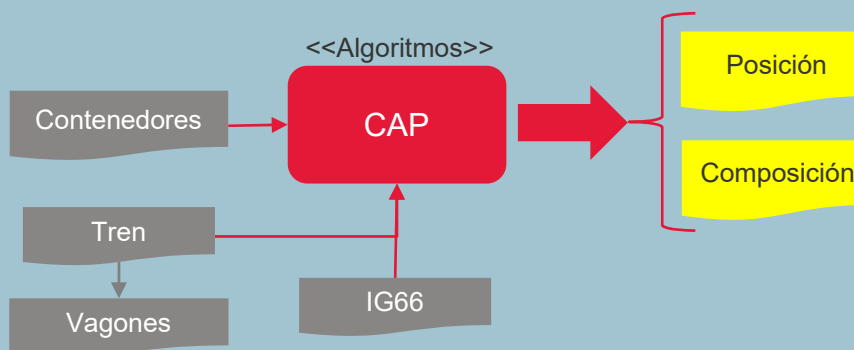
Maximizar contenedores asignados en el tren

No se colocan todos

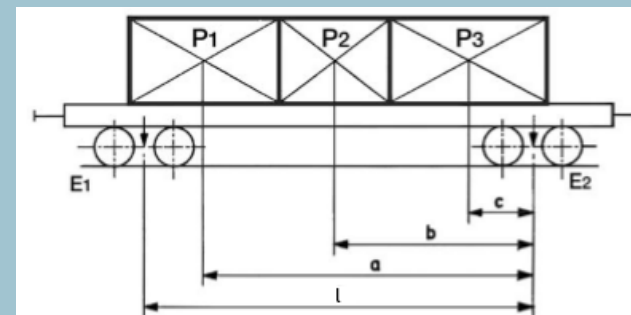
Minimizar vagones en el tren

Minimizar vagones de cada tipo

Problema de asignación de contenedores *Container Allocation Problem (CAP)*



$$E_1 = \frac{(P_1 \times a) + (P_2 \times b) + (P_3 \times c)}{l} + \frac{T}{2}$$
$$E_2 = (P_1 + P_2 + P_3 + T) - E_1$$



Veamos la resolución

Problema de asignación de contenedores

Resolucion

Information about the algorithm

The problem has been successfully solved.
The vehicle has the following platforms: FYA KFA FKA
39 containers were sent for allocation.
All containers complain some platform type gauge constraints.
37 containers have been allocated on 21 platforms.
All containers could be allocated on a vehicle with these platforms types: 7 FYA 2 KFA 14 FKA

Aceptar

C:\Optimizador\Release\SolverCAP.exe

39 contenedores
21 platafaformas
3 tipos de plataforma

Variables: 5715
Restricciones: 44

* 0: objval = 0.00000000e+00 infeas = 0.00000000e+00 (2)
* 53: objval = 3.70000000e+01 infeas = 0.00000000e+00 (0)

OPTIMAL SOLUTION FOUND

Integer optimization begins...

Objective function is integral

+ 53: mip2 = not found yet <= +inf (1; 0)
+ 146: mip2 = 3.70000000e+01 <= 3.70000000e+01 0.0% (21; 0)
+ 146: mip2 = 3.70000000e+01 <= tree is empty 0.0% (0; 41)

INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND

No ha asignado todos los contenedores
Calcula las plataformas para asignarlos todos ...

0: objval = 0.00000000e+00 infeas = 1.00000000e+00 (2)
61: objval = 2.67500000e+01 infeas = 0.00000000e+00 (14)
* 61: objval = 2.67500000e+01 infeas = 0.00000000e+00 (14)
* 126: objval = 2.23333333e+01 infeas = 1.30393959e-13 (0)

OPTIMAL SOLUTION FOUND

Integer optimization begins...

Objective function is integral

+ 126: mip2 = not found yet >= -inf (1; 0)
+ 499: mip2 = 2.30000000e+01 >= 2.30000000e+01 0.0% (28; 0)
+ 499: mip2 = 2.30000000e+01 >= tree is empty 0.0% (0; 55)

INTEGER OPTIMAL SOLUTION FOUND

Serían necesarias 23 plataformas: 7 FYA 2 KFA 14 FKA

0 segundos

¡Gracias por su atención!

javier.diego@upm.es
javdiemar@gmail.com