

Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

David J. Poza



12th International Conference on Industrial Engineering and
Industrial Management (ICIEIM)
XXII Congreso de Ingeniería de Organización (CIO)



Girona, 12th-13th July 2018

Liberalización del sector ferroviario

- **Mecanismos de asignación de derechos de uso de la infraestructura ferroviaria a compañías operadoras**



Eduardo Navas



David Poza



Félix Villafáñez



Adolfo
López-Paredes



Javier Pajares



Índice

1. Motivación

Liberalización del transporte ferroviario

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema

2.2 Aproximaciones metodológicas

2.3 Perspectiva actual

3. Subastas combinatorias

Mecanismo alternativo de asignación

4. Conclusiones

Índice

1. Motivación

Liberalización del transporte ferroviario

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema

2.2 Aproximaciones metodológicas

2.3 Perspectiva actual

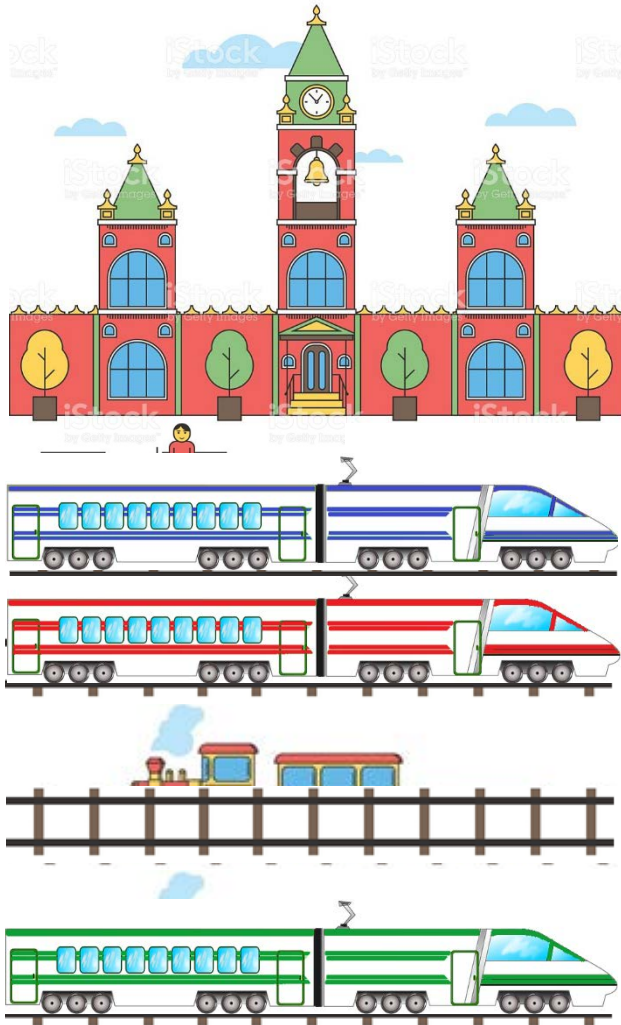
3. Subastas combinatorias

Mecanismo alternativo de asignación

4. Conclusiones

Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

I. Motivación



- **Gestión de la infraestructura ferroviaria**

- Despliegue de la infraestructura
- Programación de horarios
- Control en tiempo real

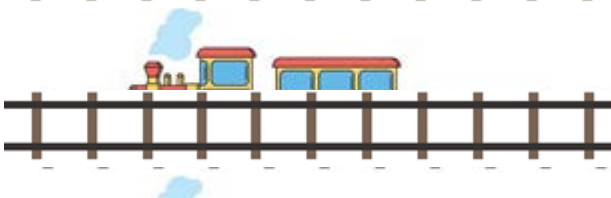
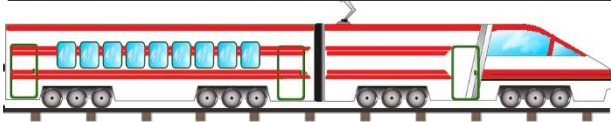
- **Explotación del transporte ferroviario**

- Proporcionar material rodante
- Ofrecer servicio de transporte (pasajeros / mercancías)



Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

I. Motivación



• Gestión de la infraestructura ferroviaria

- Despliegue de la infraestructura
- Programación de horarios
- Control en tiempo real



Compañía operadora 1

Compañía operadora 2

• Explotación del transporte ferroviario

- Proporcionar material rodante
- Ofrecer servicio de transporte (pasajeros / mercancías)

Compañía operadora 3

Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

I. Motivación

➤ Proyecto ABARNET

■ Objetivo

- Desarrollar nuevas metodologías para la **asignación** de tramos y horas de utilización de vías (*slots ferroviarios*) entre las empresas operadoras del sistema ferroviario.



Índice

1. Motivación

Liberalización del transporte ferroviario

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema

2.2 Aproximaciones metodológicas

2.3 Perspectiva actual

3. Subastas combinatorias

Mecanismo alternativo de asignación

4. Conclusiones

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema: *Railway scheduling*

- Temporización factible para que varios trenes puedan operar sin conflictos a través de una red ferroviaria
 - Otros nombres: *train timetabling problem*, *train routing problem*, *train dispatching problem*...
 - Tradicionalmente: manera manual (ensayo/error)
 - Años recientes: nuevos modelos de optimización matemáticos
 - Objetivo: uso **más eficiente** de la infraestructura ferroviaria

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema: *Railway scheduling*

- ¿Por qué la búsqueda de la eficiencia?

1. Nueva situación

- Varias compañías operadoras solicitan el acceso a parte de la infraestructura para la presentación de sus servicios

2. Se busca solución **eficiente** desde un punto de **vista económico**

- Cada segmento de infraestructura asignado a la compañía que más lo valore
- Esto ha fomentado una búsqueda de la mejora en los modelos de asignación existentes

Índice

1. Motivación

Liberalización del transporte ferroviario

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema

2.2 Aproximaciones metodológicas

2.3 Perspectiva actual

3. Subastas combinatorias

Mecanismo alternativo de asignación

4. Conclusiones

2. Revisión del estado del arte

2.2 Aproximaciones metodológicas

- Problema complejo (NP-Hard)
 - No se puede abordar de forma simultánea en toda su extensión ni en todo su horizonte temporal
 - **Modelado:** Compromiso entre precisión en los resultados y la eficiencia en la resolución del problema
 - Dos niveles de abstracción:
 - **Enfoque macroscópico**
 - Simplificación \Rightarrow optimización matemática \Rightarrow solución global
 - **Enfoque microscópico**
 - Modelos muy detallados: reproducción exacta de la infraestructura de la red y funcionamiento de los trenes

2. Revisión del estado del arte

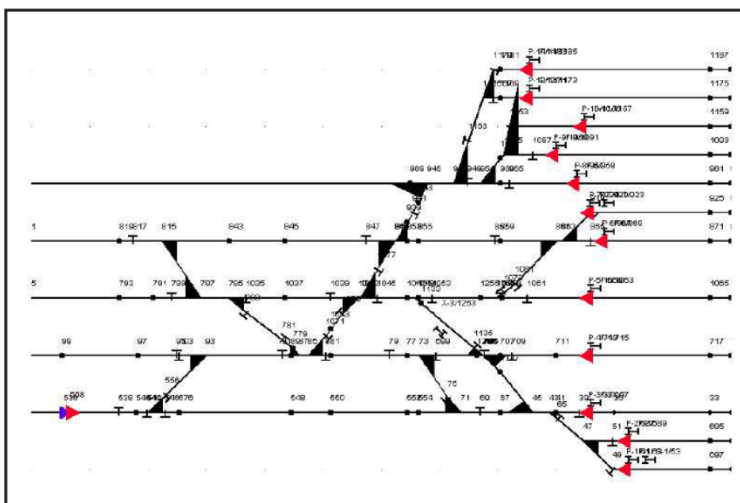
2.2 Aproximaciones metodológicas

- Enfoques macroscópico y microscópico

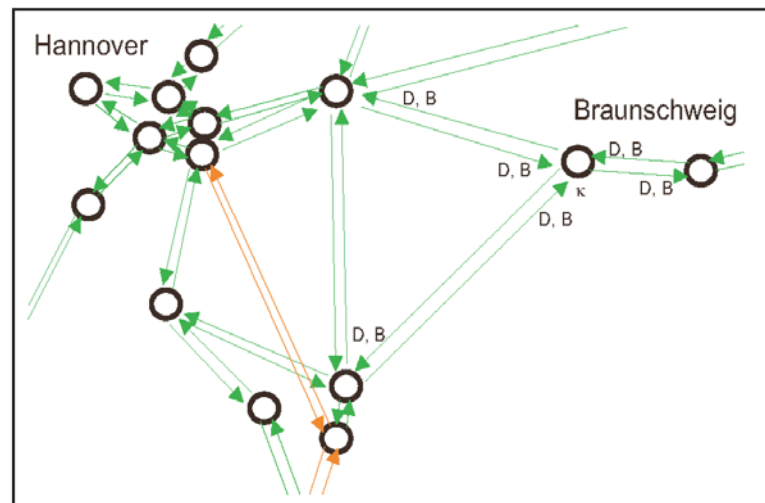
ABARNET



Enfoque microscópico



Enfoque macroscópico



Índice

1. Motivación

Liberalización del transporte ferroviario

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema

2.2 Aproximaciones metodológicas

2.3 Perspectiva actual

3. Subastas combinatorias

Mecanismo alternativo de asignación

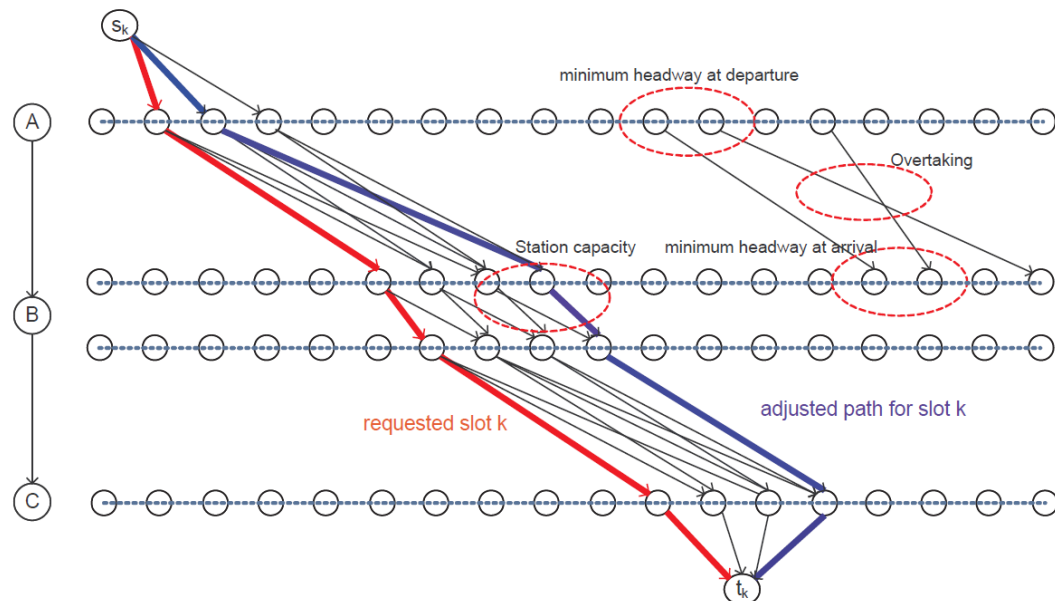
4. Conclusiones

2. Revisión del estado del arte

2.3 Perspectiva actual

1. Diseño de modelos macroscópicos

- Compromiso entre nivel de detalle y capacidad para la aplicación de modelos matemáticos



2. Revisión del estado del arte

2.3 Perspectiva actual

1. Diseño de modelos macroscópicos

- Compromiso entre nivel de detalle y capacidad para la aplicación de modelos matemáticos

2. Desarrollo de técnicas de optimización

- Búsqueda de soluciones factibles a partir de modelos macroscópicos
 - Métodos de programación lineal
 - Métodos de relajación
 - Heurísticas, etc.

Índice

1. Motivación

Liberalización del transporte ferroviario

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema

2.2 Aproximaciones metodológicas

2.3 Perspectiva actual

3. Subastas combinatorias

Mecanismo alternativo de asignación




4. Conclusiones

3. Subastas combinatorias

- **Mecanismo alternativo de asignación de *slots* ferroviarios**
 - Pocos trabajos emplean subastas combinatorias para la resolución del problema de asignación
 - Las compañías operadoras pujan por una sucesión de *slots*
 - Ventaja del empleo de la subasta combinatoria:
 - Las compañías no necesitan revelar información estratégica.

Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

 C (8:00) → D (9:00)  A(6:00) → E (9:00)  B(6:00) → F (9:00)

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-



6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-

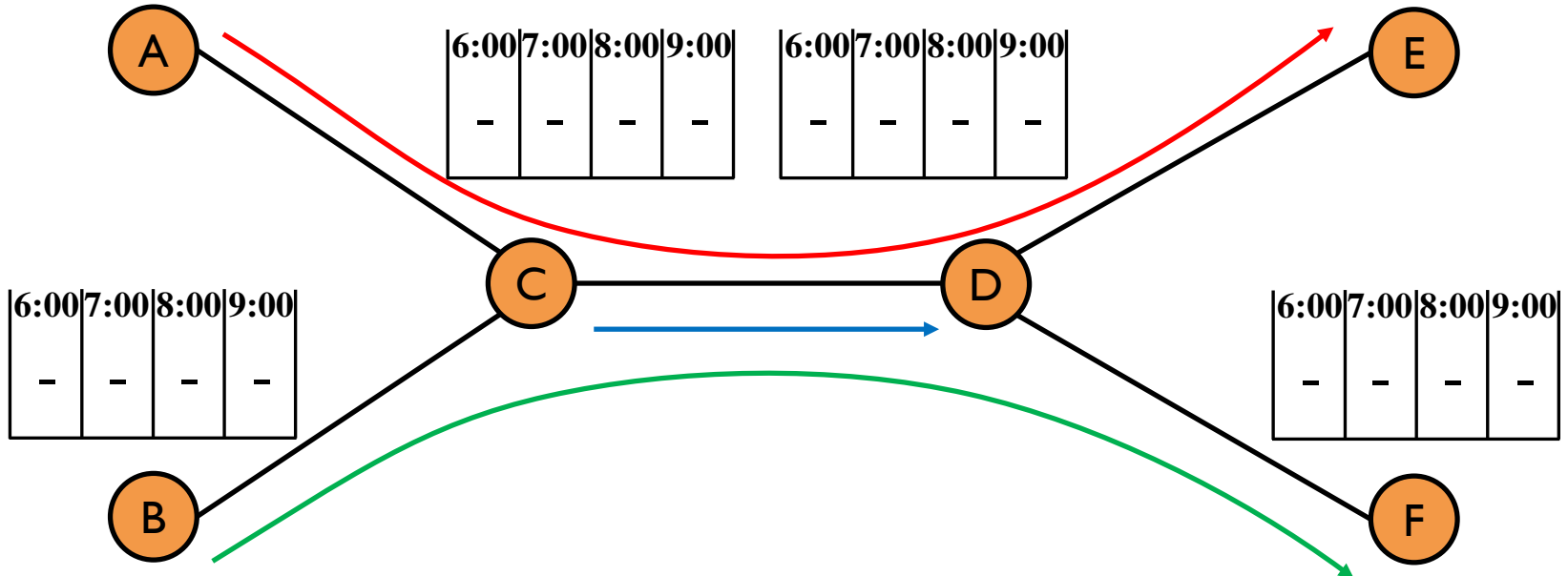
6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-



6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-






6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-



Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

 C (8:00) → D (9:00)  A(6:00) → E (9:00)  B(6:00) → F (9:00)

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-



6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	X	-

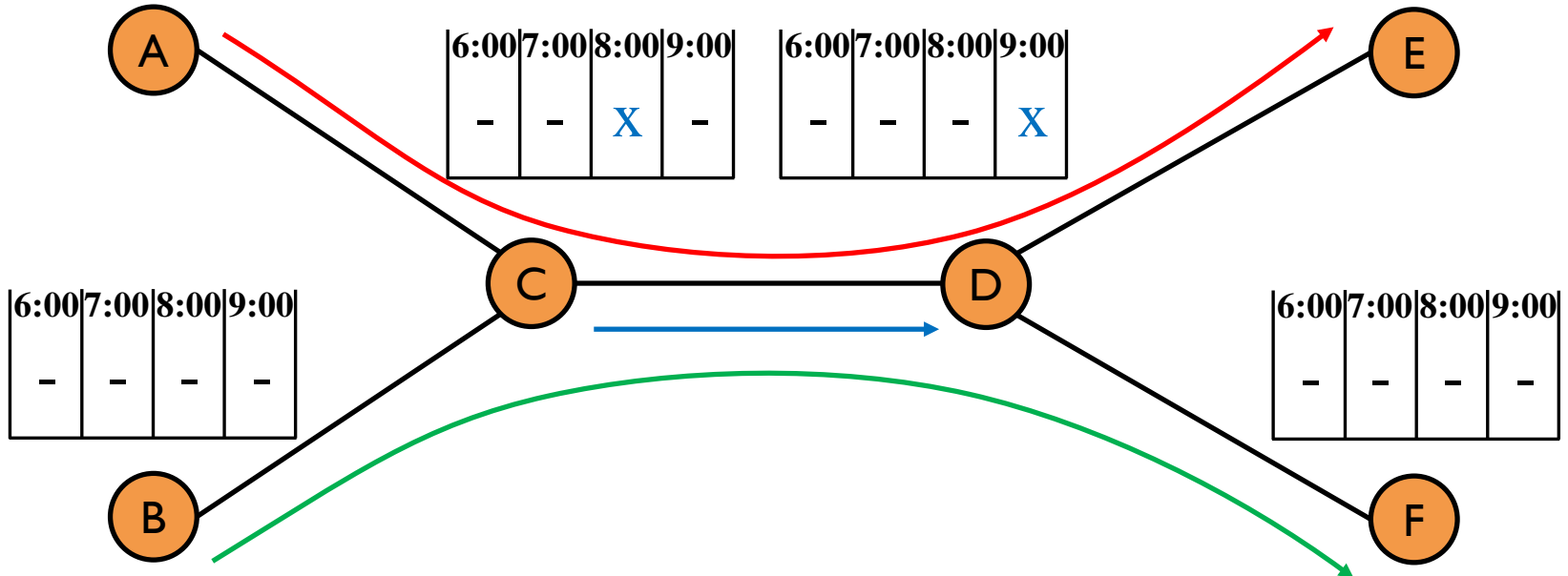
6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	X



6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-






6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-



Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

 C (8:00) → D (9:00)  A(6:00) → E (9:00)  B(6:00) → F (9:00)

6:00	7:00	8:00	9:00
X	-	-	-

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	X



6:00	7:00	8:00	9:00
-	X	X	-

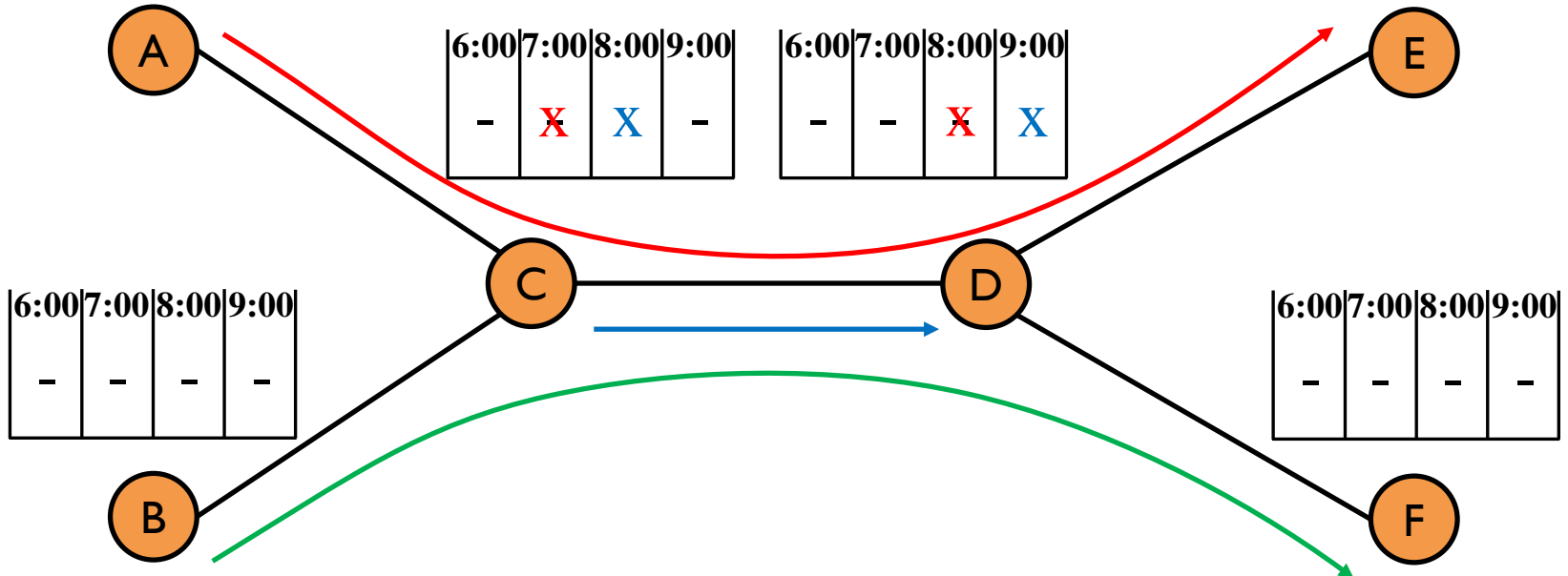
6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	X	X



6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-






6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	-



Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

 C (8:00) → D (9:00)  A(6:00) → E (9:00)  B(6:00) → F (9:00)

6:00	7:00	8:00	9:00
X	-	-	-

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	X



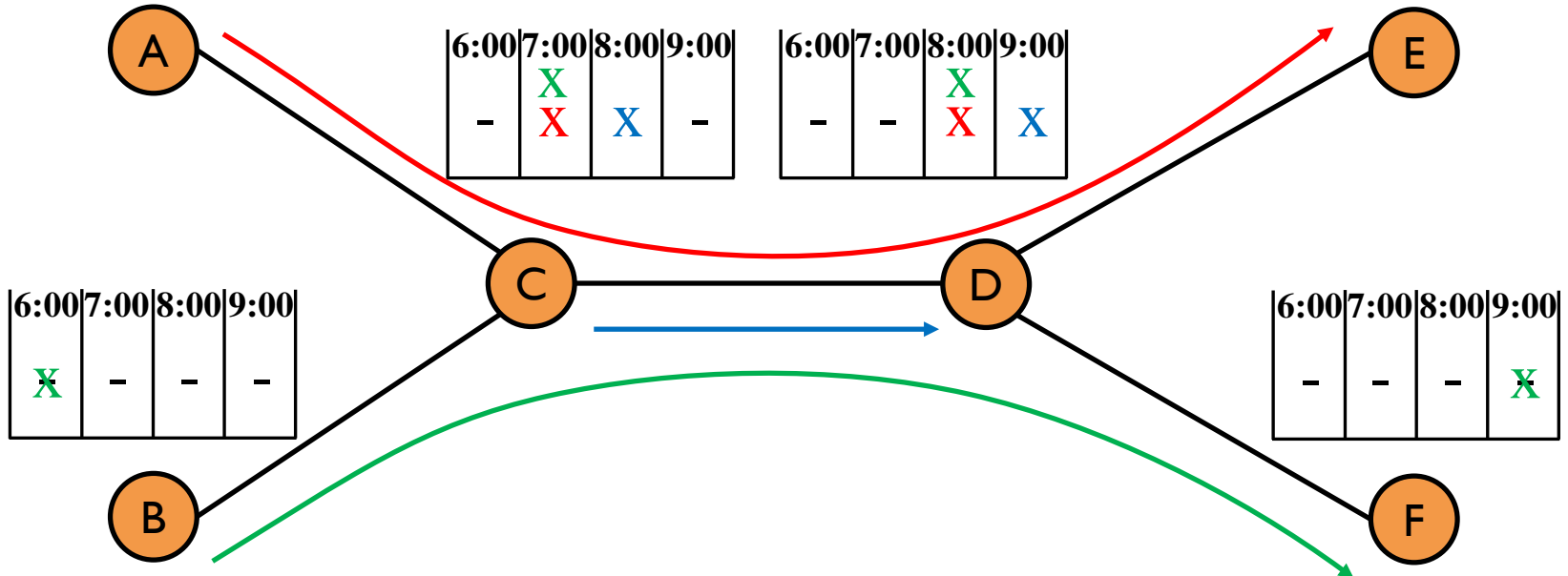
6:00	7:00	8:00	9:00
-	X	X	-

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	X	X






6:00	7:00	8:00	9:00
X	-	-	-

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	X



Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

 C (8:00) → D (9:00)  A(6:00) → E (9:00)  B(6:00) → F (9:00)

6:00	7:00	8:00	9:00
X	-	-	-

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	X

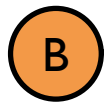


6:00	7:00	8:00	9:00
-	X X	X	-

6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	X X	X



6:00	7:00	8:00	9:00
X	-	-	-






6:00	7:00	8:00	9:00
-	-	-	X



3. Subastas combinatorias

➤ Cada compañía necesita adquirir una combinación de *slots*:

-  C (8:00) → D (9:00)
-  A (6:00) → C (7:00) → D (8:00) → E (9:00)
-  B (6:00) → C (7:00) → D (8:00) → F (9:00)

- Mediante una **subasta combinatoria** cada compañía puja por el conjunto de *slots* necesarios

Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

➤ Ronda 0



C (8:00) → D (9:00)



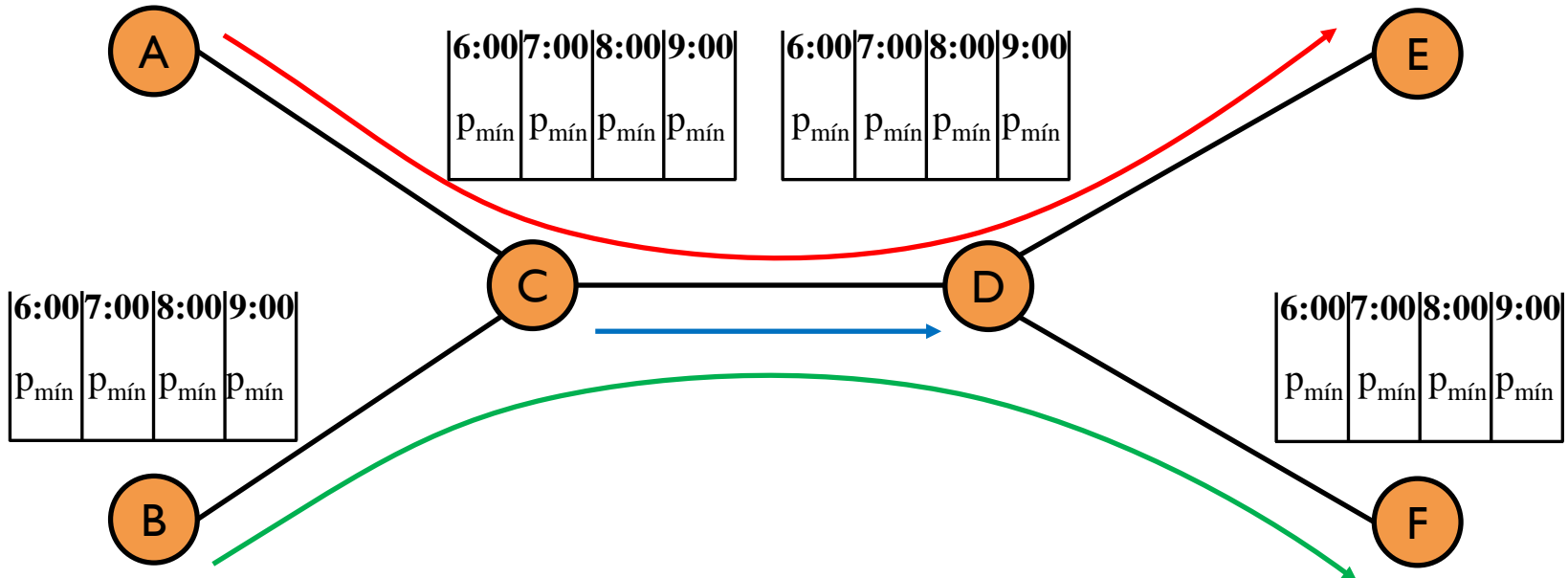
A(6:00) → E (9:00)



B(6:00) → F (9:00)

6:00	7:00	8:00	9:00
P _{mín}	P _{mín}	P _{mín}	P _{mín}

6:00	7:00	8:00	9:00
P _{mín}	P _{mín}	P _{mín}	P _{mín}



Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

➤ Ronda 1



C (8:00) → D (9:00)



A(6:00) → E (9:00)



B(6:00) → F (9:00)

6:00	7:00	8:00	9:00
P ₁			

6:00	7:00	8:00	9:00
			P ₁



6:00	7:00	8:00	9:00
P ₁	P ₁		

6:00	7:00	8:00	9:00
		P ₁	P ₁



6:00	7:00	8:00	9:00
P ₁			

6:00	7:00	8:00	9:00
			P ₁



- El subastador aumentará el precio de los **slots con mayor demanda** de cara a la siguiente ronda

Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

➤ Ronda 2



C (8:00) → D (9:00)



A(6:00) → E (9:00)



B(6:00) → F (9:00)

6:00	7:00	8:00	9:00
P ₁			

6:00	7:00	8:00	9:00
			P ₁



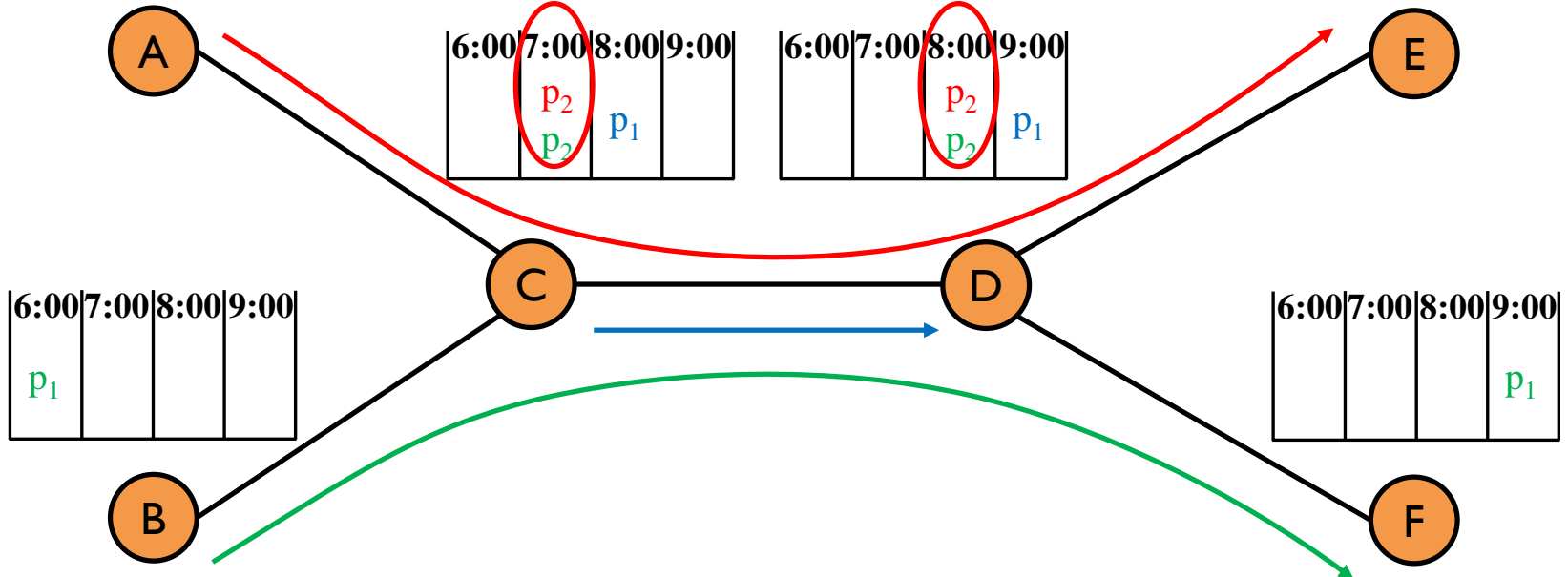
6:00	7:00	8:00	9:00
	P ₂	P ₁	

6:00	7:00	8:00	9:00
		P ₂	P ₁






6:00	7:00	8:00	9:00
P ₁			

6:00	7:00	8:00	9:00
			P ₁



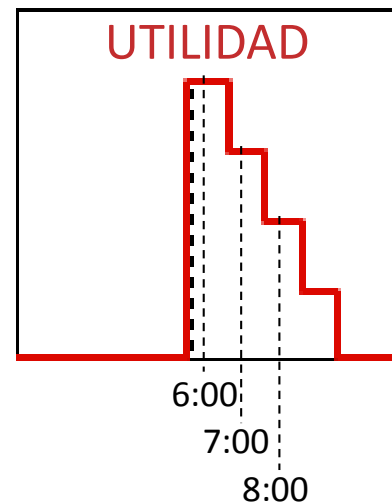
3. Subastas combinatorias

- Cada compañía necesita adquirir una combinación de *slots*:
 - Precio a pagar por cada compañía (se actualiza en cada ronda de la subasta):
 -  $p_{C(8:00)} + p_{D(9:00)}$
 -  $p_{A(6:00)} + p_{C(7:00)} + p_{D(8:00)} + p_{E(9:00)}$
 -  $p_{B(6:00)} + p_{C(7:00)} + p_{D(8:00)} + p_{F(9:00)}$
 - El subastador aumentará el precio de los ***slots*** con mayor demanda de cara a la siguiente ronda

3. Subastas combinatorias

- El objetivo de cada compañía es **maximizar su excedente**:

$$\text{Excedente} = \text{utilidad} - \sum p_{\text{slots}}$$



- Una compañía puede desplazar sus pujas a *slots* menos costosos

Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

3. Subastas combinatorias

➤ Ronda n



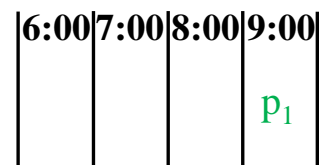
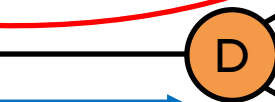
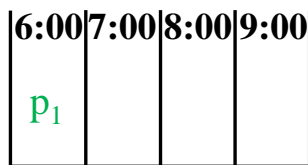
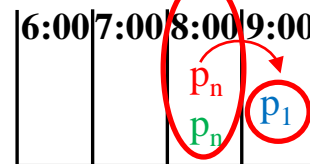
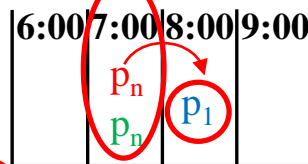
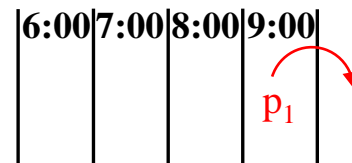
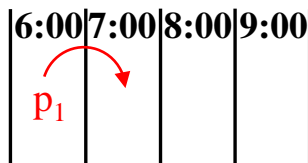
C (8:00) → D (9:00)



A(6:00) → E (9:00)



B(6:00) → F (9:00)



La subasta finaliza cuando se consigue realizar una asignación

Índice

1. Motivación

Liberalización del transporte ferroviario

2. Revisión del estado del arte

2.1 Descripción del problema

2.2 Aproximaciones metodológicas

2.3 Perspectiva actual

3. Subastas combinatorias

Mecanismo alternativo de asignación

4. Conclusiones

4. Conclusiones

➤ *Railway Scheduling*

- Revisión bibliográfica: aproximaciones basadas en programación lineal
- Propuesta de **resolución alternativa mediante subastas combinatorias** para la asignación de slots ferroviarios
 - ABARNET: Modelo piloto de subasta combinatoria aplicado a la red ferroviaria española

Subastas combinatorias basadas en agentes para la asignación de *slots* ferroviarios

David J. Poza

Gracias por su atención



12th International Conference on Industrial Engineering and
Industrial Management (ICIEIM)
XXII Congreso de Ingeniería de Organización (CIO)



Girona, 12th-13th July 2018