



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN ESTADÍSTICA

El problema de recogidas y entregas (Pickup and Delivery Problem)

Autor:

Sergio García Prado



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN ESTADÍSTICA

El problema de recogidas y entregas (Pickup and Delivery Problem)

Autor:

Sergio García Prado

Tutor:

Jesús Saez Aguado

Abstract

[TODO]

Resumen

[TODO]

Este trabajo puede ser consultado a través del siguiente enlace:
<https://github.com/garciparedes/tfg-pickup-and-delivery>

Agradecimientos

[TODO]

Prefacio

[TODO]

Índice general

| | |
|---|-----------|
| Resumen | 1 |
| Agradecimientos | 3 |
| Prefacio | 5 |
| 1. Introducción | 9 |
| 1.1. Introducción | 9 |
| 1.2. Objetivos | 9 |
| 1.3. Metodología | 9 |
| 1.4. Problema de recogidas y envíos | 9 |
| 1.5. Aplicaciones | 9 |
| 1.6. Conclusiones | 9 |
| 2. Formulación del Problema | 11 |
| 2.1. Introducción | 11 |
| 2.2. Notación | 12 |
| 2.3. Formulación básica | 12 |
| 2.4. Restricciones Adicionales | 13 |
| 2.5. Funciones Objetivo | 13 |
| 2.6. Tiempo Real | 13 |
| 2.7. Conclusiones | 13 |
| 3. Métodos de Resolución Exactos | 15 |
| 3.1. Introducción | 15 |
| 3.2. Conclusiones | 15 |
| 4. Heurísticas | 17 |
| 4.1. Introducción | 17 |
| 4.2. Greedy | 17 |
| 4.3. Metropolis Hastings | 18 |
| 4.4. Conclusiones | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 5. Metaheurísticas | 19 |
| 5.1. Introducción | 19 |
| 5.2. GRASP | 19 |
| 5.3. Simulated Anneling | 19 |
| 5.4. Tabu Search | 19 |
| 5.5. Ant Colony | 19 |
| 5.6. Variable Neighborhood Search | 19 |
| 5.7. Large Neighborhood Search | 19 |
| 5.8. Conclusiones | 20 |
| 6. Implementación | 21 |
| 6.1. Introducción | 21 |
| 6.2. Conclusiones | 21 |
| 7. Resultados | 23 |
| 7.1. Introducción | 23 |
| 7.2. Conclusiones | 23 |
| 8. Conclusiones Generales y Próximos pasos | 25 |
| 8.1. Introducción | 25 |
| 8.2. Conclusiones | 25 |
| Bibliografía | 25 |

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

[TODO]

1.2. Objetivos

[TODO]

1.3. Metodología

[TODO]

1.4. Problema de recogidas y envíos

[TODO]

1.5. Aplicaciones

[TODO]

1.6. Conclusiones

[TODO]

Capítulo 2

Formulación del Problema

2.1. Introducción

El problema de recogidas y entregas (*Pickup and Delivery*), o *PDP* en modo abreviado representa una de las modelizaciones más interesantes en el ámbito de los problemas de *optimización combinatoria*. Esto se debe a la gran cantidad de situaciones del mundo real que pueden ser representadas siguiendo dicho esquema. Sin embargo, antes de profundizar en los aspectos más detallados que caracterizan el problema de recogidas y entregas, es necesario describir el contexto del mismo, así como la clase a la cual pertenece. Una vez se haya completado dicha tarea, se estará en condiciones necesarias para poder describir tanto la versión básica como las extensiones más interesantes, tanto desde el punto de vista de los aspectos matemáticos, como desde la cantidad de situaciones reales que permiten resolver.

En cuanto a la organización del capítulo, en esta sección se describe de manera detallada el contexto del problema desde el punto de vista de la clase de problemas matemáticos a la que pertenecen (Subsección 2.1.1, Subsección 2.1.2 y Subsección 2.1.3), las características generales que presenta (Subsección 2.1.4) y algunas de las situaciones de gran relevancia para nuestra sociedad que están siendo resueltas siguiendo la modelización *PDP* (Subsección 2.1.5).

2.1.1. Problemas de Optimización

[TODO]

2.1.2. Problemas de Optimización Combinatoria

[TODO]

2.1.3. Problemas de Rutas

[TODO]

2.1.4. Problemas de Recogidas y Entregas

[TODO]

2.1.5. Aplicaciones Reales

[TODO]

2.2. Notación

[TODO]

▪ V_i : [TODO]

▪ A_t : [TODO]

▪ K_k : [TODO]

[TODO]

2.3. Formulación básica

Modelización basada en [Parragh et al., 2008]. [TODO]

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimizar} && \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij}^k x_{ij}^k \\
 &\text{sujeto a} && \sum_{k \in K} \sum_{j: (i,j) \in A} x_{0j}^k = 1, && \forall i \in P \cup D \\
 &&& \sum_{j: (0,j) \in A} x_{i,n+\tilde{n}+1}^k = 1, && \forall k \in K \\
 &&& \sum_{i: (i,n+\tilde{n}+1) \in A} x_{ij}^k = 1, && \forall k \in K \\
 &&& \sum_{i: (i,j) \in A} x_{ij}^k - \sum_{j: (j,i) \in A} x_{ij}^k = 0, && \forall j \in P \cup D, \forall k \in K \\
 &&& x_{ij}^k = 1, \implies B_j^k \geq B_i^k + d_i + t_{ij}^k && \forall (i,j) \in A, \forall k \in K \\
 &&& x_{ij}^k = 1, \implies Q_j^k = Q_i^k + q_j && \forall (i,j) \in A, \forall k \in K \\
 &&& \max\{0, q_i\} \leq Q_i^k && \forall i \in V, \forall k \in K \\
 &&& Q_i^k \leq \min\{C^k, C^k + q_i\} && \forall i \in V, \forall k \in K \\
 &&& x_j \in \{0, 1\}, && \forall j \in \{1, \dots, n\}
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Ecuación 2.1: [TODO]

[TODO]

2.4. Restricciones Adicionales

[TODO]

2.4.1. Ventanas Temporales

[TODO]

2.4.2. Duración de viaje

[TODO]

2.4.3. Duración de ruta

[TODO]

2.5. Funciones Objetivo

[TODO]

2.5.1. Pickup and Delivery

[TODO]

2.5.2. Dial a Ride

[TODO]

2.5.3. Taxi Sharing

[TODO]

2.6. Tiempo Real

[TODO]

2.7. Conclusiones

[TODO]

Capítulo 3

Métodos de Resolución Exactos

3.1. Introducción

[TODO]

[TODO: Definir Secciones.]

3.2. Conclusiones

[TODO]

Capítulo 4

Heurísticas

4.1. Introducción

[TODO]

4.2. Greedy

[TODO]

Algorithm 1: [TODO]

Result: E'

```
1  $S \leftarrow \emptyset$ ;  
2 while  $A \neq \emptyset$  do  
3    $o \leftarrow \text{best}(A)$ ;  
4    $S \leftarrow S \cup \{o\}$ ;  
5    $A \leftarrow A \cap \{o\}$ ;  
6 end
```

[TODO]

4.2.1. Criterios de Selección

[TODO]

4.2.2. Randomized Greedy

[TODO]

4.3. Metropolis Hastings

[TODO]

4.4. Conclusiones

[TODO]

Capítulo 5

Metaheurísticas

5.1. Introducción

[TODO]

5.2. GRASP

[TODO]

5.3. Simulated Annealing

[TODO]

5.4. Tabu Search

[TODO]

5.5. Ant Colony

[TODO]

5.6. Variable Neighborhood Search

[TODO]

5.7. Large Neighborhood Search

[TODO]

5.8. Conclusiones

[TODO]

Capítulo 6

Implementación

6.1. Introducción

[TODO]

[TODO: Definir Secciones.]

6.2. Conclusiones

[TODO]

Capítulo 7

Resultados

7.1. Introducción

[TODO]

[TODO: Definir Secciones.]

7.2. Conclusiones

[TODO]

Capítulo 8

Conclusiones Generales y Próximos pasos

8.1. Introducción

[TODO]

[TODO: Definir Secciones.]

8.2. Conclusiones

[TODO]

Bibliografía

[Parragh et al., 2008] Parragh, S. N., Doerner, K. F., and Hartl, R. F. (2008). A survey on pickup and delivery problems. *Journal für Betriebswirtschaft*, 58(1):21–51.