



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

TESIS DOCTORAL

OPTIMIZACIÓN DE LAS REDES DE  
DISTRIBUCIÓN DEL SERVICIO POSTAL  
UNIVERSAL

AUTOR:

JOSÉ ANTONIO VERA LÓPEZ

DIRECTORES:

FRANCISCO DE PAULA MONTES TUBÍO  
SALVADOR MERINO CÓRDOBA

PROGRAMA DE DOCTORADO UNIVERSIDAD DE  
CÓRDOBA

DEPT. INGENIERÍA GRÁFICA E INGENIERÍA DE  
INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

CÓRDOBA, 2017

TITULO: *Optimización de las redes de distribución del Servicio Postal Universal*

AUTOR: *José Antonio Vera López*

---

© Edita: UCOPress. 2017  
Campus de Rabanales  
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A  
14071 Córdoba

[www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)  
[publicaciones@uco.es](mailto:publicaciones@uco.es)

---





**TÍTULO DE LA TESIS:** “*Optimización de las redes de distribución del Servicio Postal Universal*”.

**DOCTORANDA:** José Antonio Vera López.

### **INFORME RAZONADO DEL DIRECTOR DE LA TESIS**

D. FRANCISCO DE PAULA MONTES TUBÍO, Catedrático de la Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería Gráfica y Geomática.

D. SALVADOR MERINO CÓRDOBA, Doctor de la Universidad de Málaga. Departamento de Matemática Aplicada.

### **INFORMAN:**

Que la Tesis Doctoral titulada “*Optimización de las redes de distribución del Servicio Postal Universal*”, de la cual es autor D. José Antonio Vera López, ha sido realizada bajo nuestra dirección y cumple todos los requisitos para su publicación y defensa exigidos por la legislación vigente para optar al Título de Doctor por la Universidad de Córdoba.

El desarrollo del presente trabajo de investigación se ha llevado a cabo realizando primeramente una profunda labor de análisis sobre el servicio postal universal. Continuando con una búsqueda y estudio de los diferentes problemas de rutas vehiculares.

Luego se hizo un intenso estudio sobre los parámetros que inciden sobre la distribución de los envíos postales. Finalizando con la creación de un modelo matemático de programación lineal, con el que se pretende optimizar los recursos y las rutas de distribución. Resultando de ello un completo trabajo de investigación en el que se ha profundizado en el conocimiento del proceso de entrega del Servicio Postal Universal.

La tesis define un modelo original, gracias a la combinación de modelos matemáticos con la experiencia personal diaria en este campo.

La presente tesis ha dado lugar a la publicación del artículo publicado en la revista *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, cuya referencia es:

VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2014). “System Optimization Courier and Parcel in Cities.” *Revista Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 2014, vol. 160, p. 577-586.

Además de haber participado en diversos congresos con las siguientes ponencias:

VERA, J. A.; MERINO, S. (2013). "Statistical quality control in the construction industry." Proceedings of Applications of Computer Algebra ACA, Málaga. 2013.

LIÑAN, R. J.; MAESO, E.; MERINO, S.; VERA, J. A.; (2014). "Estudio de intermodalidad en el transporte aplicada a la bicicleta en el entorno de la ciudad de Málaga." XI Congreso de Ingeniería del Transporte, Santander. 2014

VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2015). "Optimización del Servicio Postal Universal en ciudades." Firts International Conference on Smart Homes & Urban Renewal, Málaga. 2015.

PABÓN, A. B.; VERA, J. A.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2015). "PATHER. Garantía de calidad de vida." Firts International Conference on Smart Homes & Urban Renewal, Málaga. 2015.

LIÑAN, R. J.; BERENGUER, F. J.; MERINO, S.; VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; CABRERA, V.; FERNÁNDEZ, J. (2015). "Optimización matemática para la planificación y el diseño de carriles bici." Firts International Conference on Smart Homes & Urban Renewal, Málaga. 2015.


LIÑAN, R. J.; BERENGUER, F. J.; MERINO, S.; VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; CABRERA, V. (2015). "Aplicación metodológica de ubicación de bancadas de bici pública. Servicio MUyBICI de Murcia." Firts International Conference on Smart Homes & Urban Renewal, Málaga. 2015.

VERA, J. A.; PABÓN, A. B.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2016). "Efficient postal service and respectful with the environment." XII Congreso de Ingeniería del Transporte, Valencia. 2016

PABÓN, A. B.; VERA, J. A.; LIÑAN, R. J.; MERINO, S. (2016). "PATHER and GPS together to improve transport efficiency." XII Congreso de Ingeniería del Transporte, Valencia. 2016

Por todo ello, SE AUTORIZA presentar esta Tesis ante la Comisión de Doctorado de la Universidad de Córdoba, quedando firmado este informe a día tres de Abril de 2017.

Los directores:



D. Francisco Montes Tubío.



D. Salvador Merino Córdoba

*Dedicado a  
mis padres*



# Agradecimientos

Es difícil encontrar palabras que expresen la gratitud a todas las personas que te acompañan en la toma de decisiones. Por ello, debe agradecer de manera especial a mis directores de tesis, D. Francisco De Paula Montes Tubío y Salvador Merino Córdoba. Gracias D. Francisco por acogerme en su línea de investigación. Un especial agradecimiento por haber puesto su conocimiento, experiencia y dedicación a D. Salvador Merino, que desde hace años me aconseja en cada uno de los pasos dados en la investigación.

No me gustaría olvidarme de las personas que, a pesar de estar detrás del telón, siempre han estado ahí. Mil gracias a mis amigos que han sufrido multitud de ausencias debidas a la investigación. A mi familia, gracias a todos y cada uno de ellos por acogerme en los pocos momentos que regreso a casa. Me gustaría hacer una mención a mis compañeros de correos, por aguantarme a diario y enseñarme todo lo que he aprendido.

Por último A mis padres, por todo lo que han luchado para que pueda llegar hasta aquí, apoyándome en a lo largo de mi vida personal y profesional.





# Resumen

La necesidad cotidiana de los ciudadanos de comunicarse, con el fin de realizar diferentes actividades de cualquier naturaleza, se ha visto afectada en gran medida por los cambios recientemente producidos. Las ventajas generadas por la inclusión de las nuevas tecnologías como modo de comunicación, y la proliferación de su uso entre la ciudadanía, son innumerables y se extienden tanto en el ámbito personal como en el privado.

En la actualidad los servicios postales están sufriendo una transformación sin precedentes debido al cambio de las cartas en papel por los correos electrónicos, ya que éstos presentan mayor rapidez que los tradicionales al ser el tiempo de entrega inmediato. También se está produciendo un cambio en el tipo de envío, debido a que en la red postal se incrementa progresivamente el uso de la paquetería, provocado por la implantación de los comercios electrónicos, donde desde casa se puede comprar de todo.

En definitiva, todos y cada uno de estos servicios tienen la misma finalidad, comunicarnos. Y para permitir una comunicación permanente en todo el territorio, con unos criterios de calidad y a precios asequibles para los usuarios, nace el Servicio Postal Universal.

El Servicio Postal Universal pretende que todos los usuarios de los servicios postales puedan acceder a la red postal. Este acceso debe realizarse sin discriminación alguna, en especial geográfica, al existir en España muchas zonas rurales. Estas zonas rurales no atraen a los operadores postales, por su bajo beneficio, obligando a la designación por parte del Estado de un operador que garantice este servicio en todo el territorio español, en régimen de servicio público.

Este Servicio requiere por parte del operador de una planificación logística de sus rutas de transporte y entrega. Las rutas de transporte entre sus diversos centros han sido objeto de estudio detallado por parte del propio operador designado, a diferencia de las rutas de entrega, donde cada repartidor la hace en función de su experiencia o preferencias, sin seguir un criterio unificado. Este último paso representa el mayor coste en el servicio postal, entre el 40 % y el 50 % del total, debido fundamentalmente a la cantidad de medios personales y motorizados que se requieren.

En este trabajo se presenta un modelo matemático, basado en los problemas de rutas de vehículos a través de la programación lineal entera, para el diseño óptimo de una red destinada a la entrega del Servicio Postal Universal. En concreto, el sistema determina las características de dicha red basándose en criterios de teoría de grafos.

Se obtiene, por tanto, un modelo destinado a la mejora de la planificación, diseño y gestión de los diferentes recursos del proceso de entrega, provocando a la vez un importante ahorro en los costes producidos en este proceso o, lo que es lo mismo, un gran beneficio final para el operador postal.

# Abstract

The daily need of citizens to communicate, in order to carry out different activities of any nature, has been affected to a large extent by the changes recently produced. The advantages generated by the inclusion of new technologies as a mode of communication, and the proliferation of their use among citizens, are innumerable and extend both in the personal as in the private.

Currently postal services are undergoing an unprecedented transformation due to the change of paper letters by e-mails, as these are faster than traditional ones because of the immediate delivery time. Also is a change in the type of delivery, because in the postal network is progressively increased use of paqueteria, caused by the introduction of electronic commerce, where from home can buy everything.

In short, each and every one of these services have the same purpose, to communicate. And to allow permanent communication throughout the territory, with quality criteria and at affordable prices for users, the Universal Postal Service is born.

The Universal Postal Service is intended that all users of postal services can access the postal network. This access must be made without any discrimination, especially geographical, as there are many rural areas in Spain. These rural areas do not attract postal operators, its low profit, forcing the appointment by the State of an operator to guarantee this service throughout the Spanish territory under public service.

This service requires the operator of a logistics planning their transport routes and delivery. Transportation routes between its various centers have been studied detailed by the designated operator itself, unlike delivery routes, where each dealer makes

a function of their experience or preferences, without following a unified approach. This last step represents the highest cost in the postal service, between 40 % and 50 % of the total, mainly due to the amount of personal and motorized means that are required.

This paper presents a mathematical model, based on the problems of vehicle routes through the entire linear programming, for the optimal design of a network destined to the delivery of the Universal Postal Service. Specifically, the system determines the characteristics of the network based on criteria of graph theory.

It is obtained therefore a model for improving the planning, design and management of the various resources of the delivery process, causing both a significant savings in the costs incurred in this process or what is the same, a great end benefit to the postal operator.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Motivaciones . . . . .	6
1.2. Objetivos . . . . .	7
1.3. Metodología . . . . .	8
1.4. Estructura de la tesis . . . . .	8
<b>2. Estado del Arte.</b>	<b>11</b>
2.1. Introducción. . . . .	13
2.2. Marco Normativo. . . . .	13
2.2.1. La Reforma Postal en la Unión Europea. . . . .	14
2.2.2. Marco Normativo Nacional. . . . .	16
2.3. Servicios Postales. . . . .	20
2.3.1. Envíos Postales. . . . .	23
2.3.2. Usuarios. . . . .	24
2.3.3. Operadores postales. . . . .	26
2.4. El Servicio Postal Universal. . . . .	28
2.4.1. Calidad del Servicio Postal Universal. . . . .	28
2.4.2. Prestación del Servicio Postal Universal. . . . .	29
2.5. Mercado Postal Español. . . . .	31
2.5.1. Evolución del mercado postal tradicional. . . . .	31
2.5.2. Características de la demanda. . . . .	32
2.5.3. Características de la oferta. . . . .	33
2.6. Conclusiones. . . . .	36

<b>3. Los Problemas de Rutas.</b>	<b>37</b>
3.1. Introducción. . . . .	39
3.2. El Problema del Agente Viajero(TSP) . . . . .	39
3.2.1. Modelización y Formulación. . . . .	41
3.3. El Problema de Empaquetamiento en Compartimentos. . . . .	43
3.3.1. Modelización y modelo matemático. . . . .	43
3.4. Los Problemas de Rutas de Vehículos(VRP) . . . . .	44
3.4.1. Definición. . . . .	45
3.4.2. Variantes. . . . .	46
3.4.3. Formulación. . . . .	52
<b>4. Descripción del Problema.</b>	<b>57</b>
4.1. Introducción. . . . .	59
4.2. Descripción del problema. . . . .	59
4.3. El Proceso de Entrega. . . . .	61
4.3.1. Normas Generales. . . . .	61
4.3.2. Resumen. . . . .	65
4.4. Medio de distribución. . . . .	66
4.4.1. A pie. . . . .	66
4.4.2. En moto. . . . .	67
4.5. Envíos. . . . .	68
4.5.1. Línea Básica. . . . .	68
4.5.2. Línea Urgente. . . . .	71
4.5.3. Línea Económica. . . . .	73
4.5.4. Paquetería. . . . .	76
4.5.5. Servicios Financieros. . . . .	81
4.5.6. Servicios Telegráficos. . . . .	82
4.6. Puntos de entrega. . . . .	83
4.6.1. Individuales. . . . .	84
4.6.2. Colectivos. . . . .	84
4.6.3. Masivos. . . . .	85
4.6.4. Concentrados. . . . .	86
4.7. Resumen. . . . .	87

4.7.1. Resumen Tiempos. . . . .	87
4.7.2. Resumen de medidas. . . . .	88
<b>5. Modelo de Optimización Matemático</b>	<b>91</b>
5.1. Introducción. . . . .	93
5.2. Modelo Básico. . . . .	93
5.2.1. Parámetros y variables. . . . .	94
5.2.2. Función Objetivo. . . . .	97
5.2.3. Restricciones. . . . .	97
5.2.4. Análisis del modelo. . . . .	101
5.3. Primer Modelo. . . . .	102
5.3.1. Parámetros y Variables. . . . .	103
5.3.2. Función Objetivo. . . . .	107
5.3.3. Restricciones. . . . .	107
5.3.4. Análisis del modelo. . . . .	113
5.4. Segundo Modelo. . . . .	114
5.4.1. Parámetros y Variables. . . . .	115
5.4.2. Función Objetivo. . . . .	119
5.4.3. Restricciones. . . . .	119
5.4.4. Análisis del modelo. . . . .	126
<b>6. Conclusiones y Líneas de Investigación Futuras</b>	<b>127</b>
6.1. Conclusiones. . . . .	129
6.2. Líneas de Investigación Futuras. . . . .	131
<b>Bibliografía</b>	<b>133</b>
<b>Anexo</b>	<b>142</b>
<b>I. Glosario de términos.</b>	<b>143</b>
<b>Anexo</b>	<b>145</b>
<b>II. Marco Normativo Postal en España.</b>	<b>147</b>
II.a. Leyes. . . . .	148



II.b. Reales Decretos. . . . .	148
II.c. Órdenes. . . . .	150
II.d. Resoluciones. . . . .	150

# Índice de figuras

2.1. Evolución de la normativa postal en la Unión Europea. . . . .	14
2.2. Evolución de la normativa postal en España. . . . .	17
2.3. Demandantes de servicios postales. . . . .	25
2.4. Estructura del mercado postal español. . . . .	31
2.5. Aportación del sector postal al PIB español (2008-2014). Fuente: CNMC.	32
2.6. Costes de las distintas actividades del servicio postal. Fuente: NERA. . .	34
4.1. Carro de Reparto de Correos. . . . .	66
4.2. Moto de Reparto de Correos. . . . .	67
4.3. Características de los Productos de la Línea Básica. . . . .	71
4.4. Características de los Productos de la Línea Urgente. . . . .	73
4.5. Características de los Productos de la Línea Económica. . . . .	77
4.6. Características de los Productos de la Paquetería. . . . .	81
4.7. Características de los Productos de los Servicios Financieros. . . . .	82
4.8. Características de los Productos de los Servicios Telegráficos. . . . .	83
4.9. Buzón Individual. . . . .	84
4.10. Buzón Colectivo. . . . .	85
4.11. Buzón Masivo. . . . .	86
4.12. Buzón Concentrado. . . . .	87
5.1. Esquema Primer Modelo. . . . .	102
5.2. Esquema Segundo Modelo. . . . .	114



# Abreviaturas

<i>CVRP</i>	Problemas de Rutas de Vehículos con Capacidad.
<i>MDVRP</i>	Problemas de Rutas de Vehículos con Múltiples Depósitos.
<i>PVRP</i>	Problemas de Rutas de Vehículos Periódicos.
<i>SDVRP</i>	Problemas de Rutas de Vehículos con Entrega Dividida.
<i>SPU</i>	Servicio Postal Universal.
<i>SVRP</i>	Problemas de Rutas de Vehículos Estocásticos.
<i>TSP</i>	Problemas del Agente Viajero.
<i>UE</i>	Unión Europea.
<i>VRP</i>	Problemas de Rutas de Vehículos.
<i>VRPB</i>	Problemas de Rutas de Vehículos con Recogidas.
<i>VRPPD</i>	Problemas de Rutas de Vehículos con Recogidas y Entregas.
<i>VRPSF</i>	Problemas de Rutas de Vehículos con Satélites.
<i>VRPTW</i>	Problemas de Rutas de Vehículos con Ventanas de Tiempo.



# 1

## Introducción

### Índice

---

1.1. Motivaciones . . . . .	6
1.2. Objetivos . . . . .	7
1.3. Metodología . . . . .	8
1.4. Estructura de la tesis . . . . .	8

---



A lo largo de las últimas décadas los servicios postales han experimentado un gran cambio debido principalmente a dos causas: la reforma postal que se ha producido en los Estados miembros de la Unión Europea y los cambios de hábito de los usuarios.

La reforma postal culminó en España con la transposición de la Directiva 2008/6/CE en la Ley 43/2010, de 30 de diciembre, del servicio postal universal, de los derechos de los usuarios y del mercado postal. Con esta reforma se liberalizó este mercado, abriendo el acceso a nuevos operadores. Además, se aseguró un servicio postal universal de calidad, ofrecido en todo el territorio a precios asequibles, de forma eficiente y con garantías de su suficiencia financiera.

Para asegurar el servicio postal universal el Estado español encomendó su desarrollo, en régimen de obligaciones de servicio público, a la «Sociedad Estatal Correos y Telégrafos, S.A.». Este servicio debe ser prestado con la calidad determinada en la Ley, de forma permanente en todo el territorio nacional y a precios asequibles para los usuarios.

Por otra parte los usuarios son cada vez más exigentes. Sus hábitos y necesidades han ido evolucionando a la par de las nuevas tecnologías de telecomunicaciones. Sirva de muestra el hecho de que hoy en día, desde casa, con un ordenador con conexión a Internet, pueden realizar todo tipo de compras y trámites.

Con la liberalización del mercado existen diversas ofertas, que se adaptan a la mayoría de los usuarios. Pero dichas ofertas se centralizan principalmente en: zonas donde el coste operativo sea bajo, grandes ciudades y áreas metropolitanas.

La fase de entrega es la que mayor peso tiene dentro del coste final del servicio postal. Ello se debe a la cantidad de recursos, personal y vehículos que requiere, ya que no se puede automatizar en su totalidad. Se estima que su precio puede rondar el 50 % del coste final. En esta tesis se ha realizado un estudio del sector postal en España, enfocándolo en la modelización de este último y más oneroso proceso. Con ello se pretende optimizar la entrega de los envíos postales y disminuir, por tanto, el coste global del sistema.



## 1.1. Motivaciones

Desde hace unos años el autor de la presente tesis es trabajador del operador designado por el estado para la prestación del servicio postal universal. Tratando de ver si se podría aplicar los conocimientos técnicos para optimizar las redes de entrega de envíos en las ciudades, surgió el desarrollo del presente trabajo.

Entre las dificultades prácticas encontradas cabe resaltar:

- En las Unidades de Reparto existen las hojas de ruta, realizadas por los repartidores y basadas en su experiencia o hábitos. A veces estas rutas son ineficaces y se asemejan a verdaderos laberintos.
- Por otra parte la distribución de las áreas de entrega no sigue ningún método, realizándola el responsable según su propio criterio. De ahí que se encuentre a veces con zonas aisladas de entrega junto a otras áreas sobrecargadas, generando cargas de trabajo excesivamente dispares.

¿Cómo se podría entonces optimizar las rutas de entrega de una ciudad? La solución se apoyó en los problemas de optimización de rutas de vehículos. Estos problemas tratan de averiguar la ruta de una flota de transporte para dar servicio a unos clientes, existiendo una gran variedad de ellos según la tipología y las características del problema. Con ello se puede, entre otras cosas, minimizar tanto el coste total de operación como el tiempo de transporte, la distancia recorrida o los intervalos de espera, maximizar el beneficio, las horas de utilización de vehículos o el servicio al cliente, equilibrar la utilización de los recursos, etc.

La finalidad del presente trabajo es, por lo tanto, aplicar estas técnicas a los problemas de logística para optimizar los recursos asignados a una Unidad de Reparto, consiguiendo una adecuada disminución de los costes del servicio. Para ello será necesario minimizar los tiempos de recorridos y equilibrar las cargas de trabajo entre todos los repartidores.

## 1.2. Objetivos

Tal y como se ha descrito con anterioridad, la planificación de las rutas de entrega de los servicios postales se realiza en base al sentido común y la experiencia de los repartidores, junto con el responsable de la Unidad del Reparto. Se tiene por tanto una primera dificultad al no seguir criterios técnicos en su planificación.

Por ese motivo el objetivo principal de esta tesis será la obtención de un modelo que optimice la planificación y gestión del proceso de entrega de los servicios postales. Su creación de realizará de una forma objetiva y científica, basada tanto en las técnicas de optimización matemática como en la modelización de sistemas.

Para llevar a cabo tal fin, es necesario desarrollar un conjunto de objetivos específicos que, a través de una series de etapas, llevarán a la consecución del proyecto final. Estos objetivos específicos son los siguientes:

- **Objetivo 1:** Realizar una revisión del estado del arte del Servicio Postal en España. Se analizará para ello: el marco normativa en vigor, las características del mercado y la adecuación al servicio postal universal.
- **Objetivo 2:** Estudiar y analizar los diferentes Problemas de Rutas de Vehículos que existen, para la creación del modelo base.
- **Objetivo 3:** Describir el problema, analizando y clasificando todas la variables que componen el proceso de entrega de los servicios postales.
- **Objetivo 4:** Definir el modelo que, a partir del las variables que componen el servicio postal, sea capaz de optimizar una red de entrega adecuada. Para ello se deberá minimizar la distancia total de cada uno de los repartidores, teniendo como restricciones las características del medio de distribución asignado a cada trabajador, del tipo de envío postal, de los puntos de entrega y de las aptitudes del propio repartidor.
- **Objetivo 5:** Comprobar los resultados y extraer las conclusiones de los trabajos e investigaciones aplicados al caso real expuesto.

### 1.3. Metodología

La metodología a aplicar para la consecución de los anteriores objetivos se ha estructurado en distintos bloques que se describen a continuación.

En el primero se realizará un estudio del Sector Postal en España y de los diferentes Problemas de Rutas de Vehículos. Se pretende con ello: analizar el marco normativo nacional, con especial atención a las obligaciones del operador designado y a los derechos de los usuarios; ver la evolución del mercado postal, observando sus características principales; y examinar con detalle el Servicio Postal Universal.

A continuación se desarrollará un estudio de los diferentes problemas de vehículos, analizando sus características fundamentales y aplicaciones en los modelos de transporte. Seguidamente se analizarán dichos modelos y las diferentes técnicas de resolución investigadas.

En el siguiente bloque se estudiarán a fondo el problema a resolver y su modelización. Con este fin se describirán todas las variables que actúan en el problema real, analizando cada una de ellas por separado.

Tras ello se describirá un primer modelo básico para la entrega del servicio postal. A partir de él se ira refinando la solución en cada paso, hasta llegar al modelo ideal.

Finalmente se describirá un modelo, desarrollado para la optimización de la red de entrega del servicio postal universal, teniendo en cuenta todas las variables influyentes en el diseño.

### 1.4. Estructura de la tesis

El contenido de la tesis se ha dividido en 6 capítulos. El primero describe las motivaciones que ha derivado la realización de esta tesis, además de enumerar los diferentes objetivos y metodologías desarrolladas y en él se hace una breve descripción

---

del conjunto de capítulos que componen el documento.

En el capítulo 2 se hace una introducción al sector postal en España. Se analiza el marco normativo en vigor y el mercado postal español, con especial atención al servicio postal universal.

El capítulo 3 aborda los diferentes tipos de problemas de rutas existentes, describiendo cada uno de ellos y analizando su modelización y las técnicas de resolución existentes.

En el capítulo 4 se describe en profundidad cada una de las variables que interactúan, para que el propio modelo sea una imagen lo mas fiel posible de la realidad.

En el capítulo 5 se exponen los diferentes modelos de optimización propuestos. Se indican las principales dificultades encontradas y el modelo final para la optimización de la red de entrega de envíos del servicio postal universal.

Finalmente en el capítulo 6 se recogen las conclusiones extraídas sobre el resultado final del trabajo realizado y las propuestas de futuras líneas de investigación.



# 2

## Estado del Arte.

### Índice

---

<b>2.1. Introducción.</b>	<b>13</b>
<b>2.2. Marco Normativo.</b>	<b>13</b>
2.2.1. La Reforma Postal en la Unión Europea.	14
2.2.2. Marco Normativo Nacional.	16
<b>2.3. Servicios Postales.</b>	<b>20</b>
2.3.1. Envíos Postales.	23
2.3.2. Usuarios.	24
2.3.3. Operadores postales.	26
<b>2.4. El Servicio Postal Universal.</b>	<b>28</b>
2.4.1. Calidad del Servicio Postal Universal.	28
2.4.2. Prestación del Servicio Postal Universal.	29
<b>2.5. Mercado Postal Español.</b>	<b>31</b>
2.5.1. Evolución del mercado postal tradicional.	31
2.5.2. Características de la demanda.	32
2.5.3. Características de la oferta.	33
<b>2.6. Conclusiones.</b>	<b>36</b>

---



## 2.1. Introducción.

Los servicios postales son un elemento esencial en la organización de la sociedad, a través del cual se articula la comunicación en sus diversos ámbitos: personal, empresarial, de la administración, etc.

El desarrollo experimentado por las tecnologías de la información y la comunicación en las últimas décadas, dando origen a canales potencialmente sustitutivos de los productos postales tradicionales, no ha reducido la relevancia estratégica de los mercados postales tradicionales. Contrariamente a lo esperado, las nuevas tecnologías han favorecido la ampliación del ámbito del sector postal. En este sentido, los operadores nacionales han sido capaces de añadir a sus productos tradicionales otros nuevos productos como el correo híbrido, los servicios logísticos, los servicios a través de Internet, etc.

En este capítulo se describirá brevemente las características del servicio postal en España, con especial interés en el servicio postal universal, tema de estudio de esta tesis.

## 2.2. Marco Normativo.

A comienzos de la década de los noventa en la mayoría de los, por entonces, 12 estados miembros de la Unión Europea los servicios postales eran prestados por la propia Administración. La Comisión Europea identificó en ese momento importantes ineficiencias en la gestión de estos operadores postales, además de una considerable falta de orientación al cliente, lo que desembocaba en un elevado grado de heterogeneidad en la calidad de los servicios postales en Europa, que estaba lejos de ser considerada satisfactoria.

En este contexto, y con el objeto de desarrollar el Mercado Único de los Servicios Postales, se inició el debate sobre la necesidad de regular estas actividades en el seno de la Comunidad Europea. En él se identificó la potencial amenaza que debería afrontar la provisión de servicios postales básicos dentro de un mercado más amplio, que incluiría



sectores más dinámicos, como comunicaciones, publicidad y transporte. Para ello se proponía el fortalecimiento y la salvaguarda de las actividades postales tradicionales, dentro de este nuevo contexto más amplio.

### 2.2.1. La Reforma Postal en la Unión Europea.

El Libro Verde fue el punto de inflexión que estimuló el debate político y lanzó el proceso de transformación del sector postal en Europa. De esta forma, desde la década de los noventa, las instituciones comunitarias han realizado un considerable esfuerzo normativo a través de la armonización de las condiciones de mercado, encaminado a la liberalización del mercado de los servicios postales.

En la figura 2.1 se recogen los principales hitos del proceso de liberalización y reforma del sector postal en el marco de la UE.

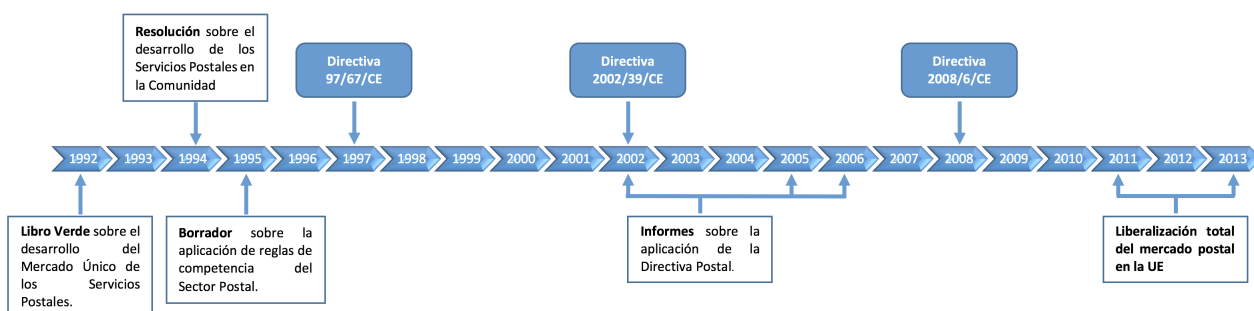


Figura 2.1: Evolución de la normativa postal en la Unión Europea.

A lo largo de las siguientes décadas de Reforma Postal se ha intentado dar respuesta a la problemática identificada en el Libro Verde, a través de tres Directivas inspiradas en los siguientes objetivos:

- Proteger y promover un servicio postal universal eficiente, fiable y asequible a todos los ciudadanos.
- Promover la formación del mercado interior de los servicios postales.

Los elementos fundamentales en torno a los que se estructuran las reformas planteadas en las tres Directivas Postales son:

- Reglas sobre la provisión del servicio postal universal.
- Apertura gradual del mercado, encaminada hacia la eliminación del área reservada y el desarrollo de la competencia.
- Requisitos que permitan la creación de una autoridades reguladoras nacionales independientes, así como la determinación de sus funciones.

### **La I<sup>a</sup> Directiva Postal.**

La Directiva 97/67/EC representó el primer desarrollo normativo específico para el sector postal. En ella se establecieron las normas comunes para la consecución del mercado interior y para la mejora en la calidad de los servicios postales (accesibles y asequibles a los usuarios) con la delimitación del Servicio Postal Universal (SPU) y el establecimiento de un área reservada de este servicio para el prestador del mismo.

### **La II<sup>a</sup> Directiva Postal.**

En 2000, la Estrategia de Lisboa señaló a la modernización de los servicios postales como uno de los factores para mejorar la competitividad en la UE. Para alcanzar este objetivo se consideró que el avance en la liberalización del sector hacia la consecución del mercado interno era el camino a seguir. Partiendo de estas premisas, se redactó la Directiva 2000/39/CE que recogió una serie de modificaciones, entre las que cabe destacar:

- La reducción progresiva del ámbito reservado al prestador del SPU en cada Estado miembro.
- El establecimiento de medidas destinadas a evitar el falseamiento de la competencia tanto a nivel tarifario como a través de la financiación del área reservada del SPU.
- El incremento en los indicadores de calidad asociados a la prestación del SPU.
- La propuesta de un calendario de liberalización.

### La III<sup>a</sup> Directiva Postal.

En febrero de 2008 se publicó la Directiva 2008/6/CE, que complementa a las dos anteriores y establece definitivamente los pasos previos a la liberalización total del sector, prevista para el año 2011 en todos los países de la UE<sup>1</sup>.

El resto de novedades que incorpora la III<sup>a</sup> Directiva se mencionan a continuación, con especial atención a la carga financiera derivada de la obligación de prestar el SPU:

- El establecimiento de un marco para el cálculo del coste neto que representa esta obligación.
- La incorporación de fuentes alternativas de financiación para el servicio postal universal, siempre que su aplicación resulte transparente y no distorsione la competencia ni la demanda de los usuarios.
- El fortalecimiento de la protección de los consumidores en un mercado en creciente competencia.
- La mejora de la provisión de información para las Autoridades Reguladoras Nacionales, a las que se les asigna la tarea de velar por la prestación eficiente del SPU.

#### 2.2.2. Marco Normativo Nacional.

De forma paralela al proceso de reforma normativa desarrollado por las instituciones comunitarias, los Estados miembros han procedido a aplicar los preceptos recogidos en las sucesivas Directivas Postales mediante su transposición a sus respectivas legislaciones nacionales. En la figura 2.2 se recogen los principales hitos del proceso normativo desarrollado en España.

En el Anexo II se recoge la normativa en vigor<sup>2</sup> en materia postal en España. Cabe destacar: La Ley 43/2010, de 30 de diciembre de 2010, del servicio postal universal,

---

<sup>1</sup>Excepto en Chipre, Eslovaquia, Grecia, Hungría, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Polonia, República Checa y Rumanía, que tenían la opción de retrasarla hasta 2013.

<sup>2</sup>A fecha 31 de mayo de 2017

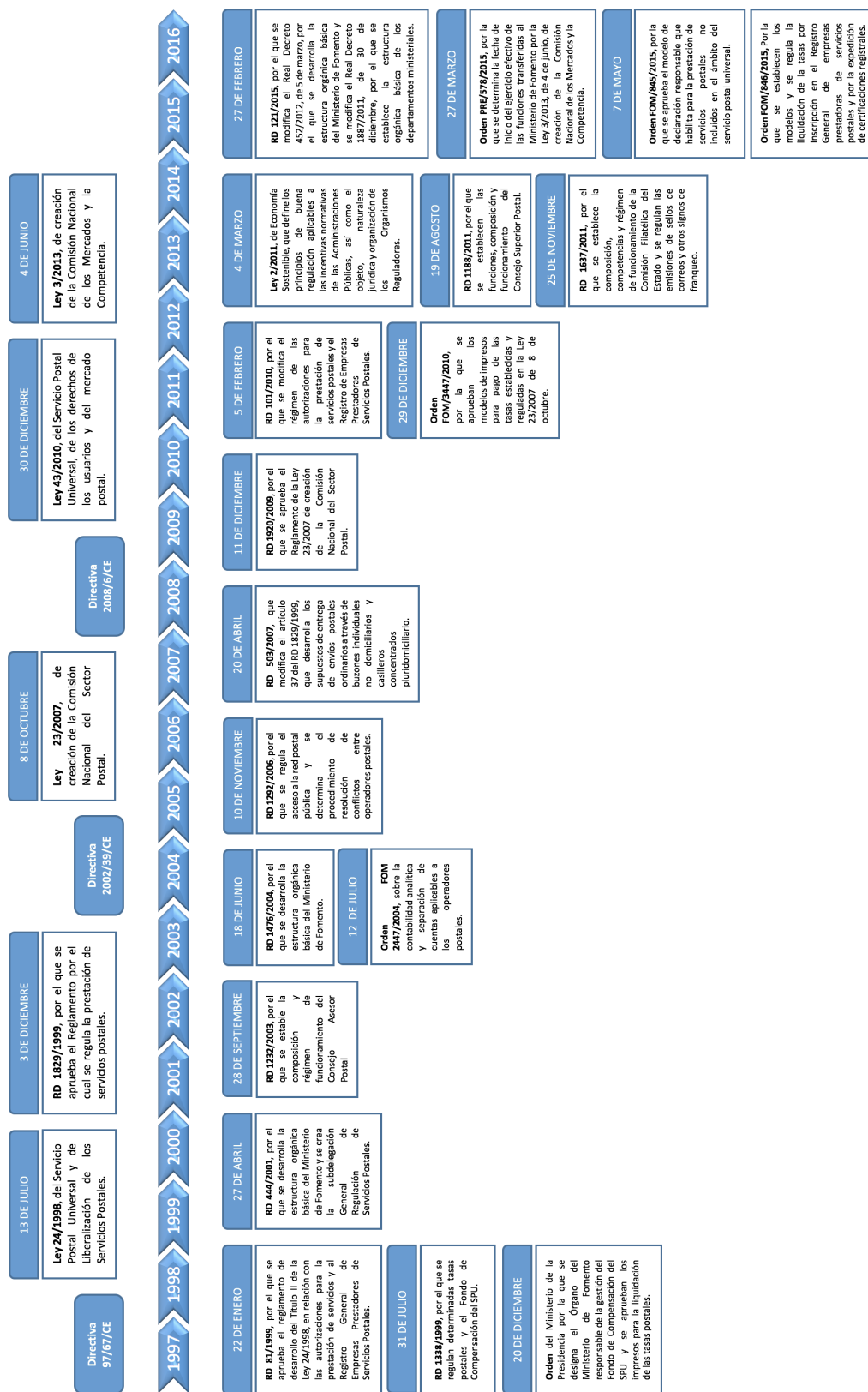


Figura 2.2: Evolución de la normativa postal en España.

de los derechos de los usuarios y del mercado postal; La ley 3/2013, de 4 junio, de creación de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia; y el Real decreto 1829/1999, de 20 de septiembre, por el se aprueba el Reglamento por el que se regula la prestación de los servicios postales.

A continuación se enunciará brevemente las principales características y contenido de la Ley 43/2010 (Ley Postal), al ser el marco normativo de referencia en España en materia postal.

### **Ley 43/2010 del Servicio Postal Univesal, de los Derechos de los Usuarios y del Mercado Postal.**

El 31 de diciembre de 2010 se publicó en el BOE la Ley 43/2010, de 30 de diciembre, del servicio postal universal, de los derechos de los usuarios y del mercado postal, que supone la transposición de la Directiva 2008/6/CE, al ordenamiento jurídico español, culminando el proceso de reforma del sector postal.

Esta Ley, que reemplaza a la Ley 24/1998, de 13 de julio, del servicio postal universal y de liberalización de los Servicios Postales, y entra en vigor el 1 de enero de 2011, pone fin a un ciclo en el sector postal nacional, ya que, siguiendo la Directiva europea, queda completamente liberalizado el sector.

Las diversas directivas europeas que han inspirado el proceso de liberalización del sector postal han reiterado que los Estados miembros deber velar par que la reforma del mercado postal resulte plenamente compatible con el mantenimiento de un servicio postal universal de elevada calidad y que sea ofrecido en todo el territorio a precios asequibles, de forma eficiente y con garantía en suficiencia financiera.

La Ley configura, de acuerdo con la Directiva que transpone, tres áreas bien definidas de servicios postales:

- A) En primer lugar, el servicio postal universal, que se encomienda en régimen de obligaciones de servicio público a “Sociedad Estatal Correos y Telegráfos, Sociedad Anónima”.

- B) Por otra parte, los servicios que cayendo bajo el alcance material del servicio postal universal se prestan en condiciones de libre mercado ajenas a las obligaciones de servicio público que se le imponen al prestador del servicio postal universal.
- C) Finalmente, aquellos servicios postales distintos e los servicios postales tradicionales.

En el título I de la ley se define su ámbito objetivo de aplicación, que comprende la regulación del servicio postal universal y de los derechos de los usuarios de los servicios postales, considerando la obligación del Estado de garantizar ese servicio de acuerdo con unos determinados parámetros de calidad y un mercado postal plenamente adaptado a la normativa comunitaria.

El título II se ocupa de los derechos de los usuarios, delimitando con precisión suficiente la posición jurídica de éstos para garantizar la mejor transparencia del mercado postal y el logro del nivel de calidad requerido.

El título III regula el servicio postal universal, que se define como el conjunto de servicios postales de calidad determinada por la ley, prestados de forma permanente en todo el territorio nacional y a precio asequible para los usuarios.

El título IV establece el principio de libre competencia para la prestación de los servicios postales en los términos fijados por la ley, atendiendo a la necesaria diferenciación entre servicios incluidos y no incluidos en el ámbito del servicio postal universal.

En el título V de la Ley se garantiza a los operadores postales el acceso a la red y a otras infraestructuras postales para la prestación de los servicios de acuerdo con los principios de transparencia, proporcionalidad y no discriminación, y se establecen las medidas necesarias para que el ejercicio de dicho derecho resulte compatible con la garantía de la integridad, eficacia y eficiencia de la red postal.

El título VI se ocupa del marco institucional y de los órganos administrativos competentes para la aplicación de la ley. Se establece que tendrán la consideración de Autoridad Nacional de Reglamentación Postal: el Gobierno, los órganos superiores y

directivos del Ministerio de Fomento con competencias en esta materia y la Comisión Nacional del Sector Postal.

Las competencias inspectoras corresponden a la Comisión Nacional del Sector Postal, cuyos funcionarios serán considerado agentes de la autoridad y estarán investidos de las facultades inquisitivas propias de su función.

Finalmente la ley designa por un periodo de 15 años a la «Sociedad Estatal de Correos y Telégrafos, Sociedad Anónima» como operador al que se encomienda la prestación del servicio postal universal.

### 2.3. Servicios Postales.

Según la Ley Postal<sup>3</sup>, se entenderá por servicios postales: *“cualesquiera servicios consistentes en la recogida, la admisión, la clasificación, el transporte, la distribución y la entrega de envíos postales.”*

Los servicios postales en España, son servicios de interés económico general que se prestan en régimen de libre competencia, a excepción del servicio postal universal. El cual está sometido a obligaciones de servicio público, encomendados al operador designado por el Estado.

No se considerarán servicios postales los servicios realizados en régimen de autoprestación<sup>4</sup>, así como los servicios relativos a los envíos sin dirección postal del destinatario.

Los servicios postales, en función de las condiciones exigibles en su prestación, se clasifican en las siguientes categorías<sup>5</sup>:

A) Servicios **incluidos** en el ámbito del servicio postal universal.

---

<sup>3</sup>Artículo 3.1 de la Ley 43/2010

<sup>4</sup>Se entiende que existe régimen de autoprestación cuando la prestación de los servicios postales se efectuó directamente por el propio remitente de los envíos, o bien cuando se realice valiéndose de un tercero que actúe, en exclusiva, para el mismo.

<sup>5</sup>Artículo 37 de la Ley 43/1020

B) Servicios **no incluidos** en el ámbito del servicio postal universal.

De acuerdo con las garantías que se otorgan al envío, se clasifican en<sup>6</sup>:

- A) **Servicios de envíos generales.** Son aquellos para los que el operador postal correspondiente no otorga más garantías al envío que las ofrecidas con carácter general. Tales envíos son confiados al operador, sin que medie recibo justificativo individualizado de cada uno de dichos envíos que permita identificar la dirección postal del remitente y del destinatario.
- B) **Servicios de envíos certificados.** Son los que, previo pago de una cantidad predeterminada a tanto alzado, establecen una garantía fija contra los riesgos de pérdida, sustracción o deterioro, y que facilitan al remitente, en su caso, a petición de éste, una prueba del depósito del envío postal o de su entrega al destinatario.
- C) **Servicios de envíos con valor declarado.** Son los que permiten asegurar éstos por el valor declarado por el remitente, en caso de pérdida, sustracción o deterioro.

Y por las prestaciones básicas o complementarias que conllevan, pueden ser<sup>7</sup>:

- A) **Ordinarios.** Cuando los envíos son confiados al operador postal de que se trate para la realización de un servicio postal acogiéndose a condiciones y calidades regulares preestablecidas por el operador postal.
- B) **Rápidos.** Cuando el servicio, además de su mayor rapidez y seguridad en la recogida, distribución y entrega de los envíos, se caracteriza por todas o alguna de las siguientes prestaciones suplementarias: garantía de entrega en una fecha determinada; recogida en el punto de origen; entrega en mano al destinatario; posibilidad inmediata de cambiar de destino o destinatario; confirmación al remitente de la recepción de su envío; supervisión, seguimiento y localización de envíos; trato personalizado a los clientes y prestación de un servicio bajo demanda, como y cuando se solicite por el usuario.

---

<sup>6</sup>Artículo 14.1 del Real Decreto 1829/1999.

<sup>7</sup>Artículo 14.2 Real Decreto 1829/1999.



- C) **Especiales.** Son servicios que contemplan prestaciones de naturaleza específica, distintas a las de los servicios postales rápidos, como pueden ser los servicios de contra reembolso, donde la entrega al destinatario se efectúe previo abono del importe reembolsable, o los sujetos a derechos complementarios por acogerse a facilidades especiales ofrecidas por el operador postal para ser utilizados discrecionalmente por los usuarios.

Una vez vistas las diferentes clasificaciones de los servicios postales, se va a proceder a describir las operaciones que componen los servicios postales, que en su conjunto son<sup>8</sup>:

- A) **Recogida.** Es la operación consistente en retirar los envíos postales depositados en los puntos de acceso a la red postal del operador.
- B) **Admisión.** Consiste en la recepción por parte del operador postal del envío que le es confiado por el remitente para la realización del proceso postal integral.
- C) **Clasificación.** Incluye el conjunto de operaciones cuyo fin es la ordenación de los envíos postales, atendiendo a criterios de la operativa postal.
- D) **Tratamiento.** Es el conjunto de la operaciones auxiliares realizadas con los envíos postales admitidos por el operador destinado a prepararlas para subsiguientes operaciones postales.
- E) **Curso.** Es la operación u operaciones que permiten el encaminamiento de los envíos postales.
- F) **Transporte.** Es el traslado por cualquier tipo de medios de los envíos postales hasta su punto final de distribución.
- G) **Distribución.** Es cualquier operación realizada en los locales de destino del operador postal a donde ha sido transportado el envío postal en forma inmediatamente previa a su entrega final al destinatario del mismo.
- H) **Entrega.** Es el reparto de los envíos en la dirección postal en ellos consignada.

---

<sup>8</sup>Artículo 14.3 del Real Decreto 1829/1999.

Tras hacer una breve descripción de los servicios postales, para conocer sus características. Se va a proceder a describir los elementos fundamentales que conforman los servicios postales: los envíos, los usuarios, los operadores y la Autoridad Nacional de Reglamentación.

### 2.3.1. Envíos Postales.

Se entiende por envío postal: *“todo objeto destinado a ser expedido a la dirección indicada por el remitente sobre el objeto mismo o sobre su envoltorio, una vez presentado en la forma definitiva en la cual deber ser recogido, transportado y entregado.”*

No se consideran envíos postales, según la Ley Postal, los envíos que contengan objetos cuyo tráfico o circulación esté prohibida o sea delito, de acuerdo con las leyes y convenios internacionales en vigor en España. Entendiéndose como objetos prohibidos<sup>9</sup>, aquellos cuya circulación no se permita por motivos de seguridad pública, utilidad general y de protección del servicio postal universal.

Según el Real Decreto 1829/1999, son envíos postales, las cartas, tarjetas postales, paquetes postales, los envíos de publicidad directa, libros, catálogos y publicaciones periódicas. Entendiéndose por ellos<sup>10</sup>:

- A) **Carta.** Todo envío cerrado cuyo contenido no se indique ni pueda conocerse, así como toda comunicación materializada en forma escrita sobre soporte físico de cualquier naturaleza, que tenga carácter actual y personal.
- B) **Tarjeta postal.** Toda pieza rectangular de cartulina consistente o material similar, lleve o no el título de tarjeta postal, que circule al descubierto y que contenga un mensaje de carácter actual personal.
- C) **Paquetes postales.** Los envíos que contengan cualquier objeto, producto o materia, con o sin valor comercial, cuya circulación por la red postal no esté prohibida.

---

<sup>9</sup>En el Artículo 16 del Real Decreto 1829/1999 se enumeran los objetos prohibidos.

<sup>10</sup>Artículo 13 del Real Decreto 1829/1999.

- D) **Publicidad directa.** El envío destinado a la promoción y venta de bienes y servicios que reúna los requisitos expuestos en el artículo 13.2.D) del RD 1829/1999.
- E) **Libros.** Las publicaciones, cualesquiera sea su soporte, encuadernadas o en fascículos, remitidas por empresas editoras, distribuidoras, establecimientos de venta y centros de enseñanza por correspondencia autorizada, siempre que no contengan otra publicidad que la que eventualmente figura en la cubierta<sup>11</sup>.
- F) **Catálogos.** El envío que, destinado a promoción y venta de bienes y servicios, reúna además los requisitos expuestos en el artículo 13.2.F) del RD 1829/1999.
- G) **Publicaciones periódicas.** Los objetos que se publican periódicamente, con el mismo título repetido en cada ejemplar y cuyo texto o contenido sea de índole o naturaleza diversa, distinguiéndose por la variedad de enunciados, trabajos, informaciones o noticias.

Las dimensiones mínimas y máximas de los envíos, así como sus limitaciones de peso, serán las adoptadas en las disposiciones pertinentes adoptadas por la Unión Postal Universal. En el Capítulo 4, se tratarán con mayor pormenorización para cada envío.

### 2.3.2. Usuarios.

Se considera usuario de los servicios postales<sup>12</sup> *“a la persona física o jurídica que se beneficie de su prestación como remitente o como destinatario, cualquiera sea la naturaleza, pública o privada, del operador que los preste.”*

Los usuarios, se pueden clasificar en cuatro grandes grupos de emisores<sup>dF11</sup>:

- A) **Particulares.** Personas físicas que requieren de servicios postales para su comunicaciones a título personal.
- B) **PYMEs.** Empresas de pequeño y mediano tamaño que precisan estos servicios como soporte a su actividad empresarial pero que no generan a título individual volúmenes muy significativos de envíos.

<sup>11</sup>El material fonográfico y videográfico tendrá el mismo tratamiento que los libros.

<sup>12</sup>Artículo 4 del Real Decreto 1829/1999.

C) **Grandes emisores.** Empresas de gran dimensión entre las que estarían las entidades financieras, eléctricas, aseguradoras, telecomunicaciones, suministros, etcétera, así como las Administraciones Públicas.

D) **Empresas directamente relacionadas con la correspondencia.** El servicio postal es un proceso crítico de su propio negocio (publicidad y marketing, bases de datos, venta por catálogos, editoriales, etc.).

Particulares	Pymes	Grandes emisores	Empresas directamente relacionadas con la correspondencia
Descripción			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envíos postales realizados por personas físicas a título particular.</li> <li>• Envíos puntuales y esporádicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envíos postales realizados por pequeñas y medianas empresas asociadas a su actividad empresarial.</li> <li>• Número limitado de destinatarios.</li> <li>• Envíos más o menos puntuales y esporádicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envíos postales realizado por empresas de importante volumen y por las Administraciones Públicas.</li> <li>• Envíos más o menos masivos, personalizados y periódicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envíos postales realizados por empresas vinculadas a la correspondencia.</li> <li>• Alto número de destinatarios.</li> <li>• Envíos masivos, personalizados y periódicos.</li> </ul>
Perfil			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número reducido de envíos.</li> <li>• Frecuencia irregular.</li> <li>• Empleo de la red postal pública.</li> <li>• Máxima dispersión geográfica entre remitente y destinatario.</li> <li>• Necesidad de gran capilaridad.</li> <li>• Tarifas oficiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número medio de envíos.</li> <li>• Frecuencia irregular.</li> <li>• Empleo de la red postal pública y de operadores privados.</li> <li>• Elevada dispersión geográfica entre el remitente y el destinatario.</li> <li>• Necesidad de gran capilaridad.</li> <li>• Tarifas oficiales y descuentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto número de envíos.</li> <li>• Frecuencia elevada y regular.</li> <li>• Uno o más proveedores de servicios postales.</li> <li>• Elevada dispersión geográfica en la entrega final.</li> <li>• Necesidad de capilaridad en destino.</li> <li>• Tarifas negociadas por volumen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto número de envíos.</li> <li>• Frecuencia elevada y regular.</li> <li>• Uno o más proveedores de servicios postales y empleo de la red postal.</li> <li>• Elevada dispersión geográfica en la entrega final.</li> <li>• Necesidad de capilaridad en destino.</li> <li>• Tarifas negociadas por volumen.</li> </ul>
Clasificación			
Por tipo de envío: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartas y tarjetas postales.</li> <li>• Todo tipo de servicios y correspondencia asociad al turismo.</li> <li>• Otros.</li> </ul>	Por tipo de envío: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Correspondencia ordinaria.</li> <li>• Correspondencia asociada al funcionamiento del negocio.</li> </ul>	Por remitente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entidades financieras, seguros, telecomunicaciones, etc.</li> </ul> Por relación remitente-destinatario: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa a empresa (B2B).</li> <li>• Empresa a cliente (B2C).</li> </ul>	Por tipo de negocio o envío: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Marketing directo.</li> <li>• Base de datos.</li> <li>• Ventas por catálogo.</li> <li>• Editoriales.</li> </ul>

Figura 2.3: Demandantes de servicios postales.

Tomando como base esta clasificación, en la figura 2.3, se puede ver de forma sintetizada las principales características de la demanda de servicios postales en España.

La Ley Postal, en su Título II<sup>13</sup>, define los derechos de los usuarios de los servicios postales, los cuáles son: Secreto de las comunicaciones postales; inviolabilidad de los envíos postales; protección de datos; derecho a la prestación de un servicio postal universal de calidad; derecho a la información sobre los servicios postales; derecho de reclamación; derecho de denuncia; derecho a percibir indemnización; derecho a la propiedad de los envíos postales; derecho a la presentación de escritos dirigidos a la Administraciones Públicas; derecho a la identificación del operador; derecho a la prueba de depósito y entrega de los envíos certificados; derecho de reexpedición y rehúse de los envíos postales; derecho a la protección de los envíos no entregados; y derecho a la información y presentación de reclamaciones, denuncias y escritos de las personas con discapacidad.

De entre todos esos derechos, cabe destacar en el estudio de esta tesis, el derecho a la prestación de un servicio postal universal de calidad<sup>14</sup>: *“Los usuarios tendrán derecho a la prestación de un servicio postal universal de calidad **prestado de forma permanente, en todo el territorio nacional** y a precios asequibles.”*

### 2.3.3. Operadores postales.

Según la Ley postal, el operador postal es<sup>15</sup>: *“la persona natural o jurídica que, con arreglo a esta Ley, presta uno o varios servicios postales.”*

Pueden prestar servicios postales, según la Ley Postal<sup>16</sup>, *“las personas naturales con la nacionalidad de un Estado miembro de la Unión Europea o cualquier persona jurídica de las contempladas en el artículo 48 del Tratado de la Comunidad Europea y establecida en un Estado miembro, o con otra nacionalidad cuando así esté previsto en los convenios o acuerdos internacionales en los que sea parte el Estado español.”*

---

<sup>13</sup>Artículos 5 a 19 de la Ley 43/2010.

<sup>14</sup>Artículo 8 de la Ley 43/2010

<sup>15</sup>Artículo 3.8 de la Ley 43/2010.

<sup>16</sup>Artículo 38. Ley 43/2010.

Para poder prestar servicios, los operadores deben:

- A) Disponer de, al menos un establecimiento permanente en territorio español.
- B) Comunicar al Registro General de Empresas Prestadoras de Servicios Postales las direcciones electrónica y postal y los datos de identificación de su representante a efectos de comunicaciones y notificaciones.
- C) Estar en posesión de una autorización administrativa.

Según el Registro General de Empresas Prestadoras de Servicios Postales, los operadores postales, se clasifican en función de la autorización administrativa en:

- A) **A.** Operadores que prestan servicios postales no incluidos en el servicio postal universal.
- B) **B.** Operadores que prestan servicios postales incluidos en el servicios postal universal<sup>17</sup>.

Pudiendo existir empresas con ambas autorizaciones administrativas, AB. Los operadores a los que se les otorgan dichas autorizaciones deben cumplir una serie de obligaciones recogidas en el Artículo 43 de la Ley 43/2010.

### **Operador designado.**

El operador designado es<sup>18</sup> *“el operador al que el Estado ha encomendado la prestación del servicio postal universal, de acuerdo con lo dispuesto en la presenta ley.*

La Ley Postal, en su disposición adicional primera, designa a la “Sociedad Estatal Correos y Telegráfos, Sociedad Anónima” la condición de operador designado por el Estado para prestar el servicio postal universal por un período de 15 años.

---

<sup>17</sup>Estos servicios comprenden las actividades de recogida, admisión, clasificación, transporte, distribución y entrega de envíos postales, tanto nacionales como internacionales en régimen ordinario de: Cartas y tarjetas postales de hasta dos kilogramos de peso; y paquetes postales, con o sin valor comercial, de hasta veinte kilogramos de peso.

<sup>18</sup>Artículo 3.9 de la Ley 43/2010.

## 2.4. El Servicio Postal Universal.

Se entiende por servicio postal universal<sup>19</sup> “*el conjunto de servicios postales de calidad determinada en la ley y sus reglamentos de desarrollo*”<sup>20</sup>, prestados en régimen ordinario y permanente en todo el territorio nacional y a precios asequible para todos los usuarios.”

Se incluyen en el ámbito del servicio postal universal las actividades de recogida, admisión, clasificación, transporte, distribución y entrega de envíos postales nacionales y transfronterizos ,en régimen ordinario, de certificado y de valor declarado, de:

- A) Cartas y tarjetas postales que contengan comunicaciones escritas en cualquier tipo de soporte hasta dos kilogramos de peso.
- B) Paquetes postales, con o sin valor comercial, de hasta veinte kilogramos de peso.
- C) Publicidad directa, libros, catálogos, publicaciones periódicas y restantes cuya circulación no esté prohibida<sup>21</sup>.

### 2.4.1. Calidad del Servicio Postal Universal.

La prestación del servicio postal universal, establecida con criterios de regularidad, requerirá el cumplimiento de los plazos medios de expedición, en cómputo anual, medidos de extremo a extremo<sup>22</sup>, según la fórmula  $D + n$ <sup>23</sup>.

Los plazos medios de expedición y normas de regularidad serán:<sup>24</sup>

A) Ámbito Nacional.

a) **Cartas y Tarjetas Postales:**  $D + 3$  en un 93%.  $D + 5$  en un 99%.

---

<sup>19</sup>Artículo 20 de la Ley 43/2010.

<sup>20</sup>Real Decreto 1829/1999 hasta que se apruebe el nuevo Reglamento de desarrollo.

<sup>21</sup>Siempre que se lleve a cabo con arreglo a alguna de las modalidades descritas anteriormente.

<sup>22</sup>Es el plazo transcurrido desde la fecha de depósito en el punto de acceso a la red hasta la fecha de entrega al destinatario. La fecha de depósito que se tomará en cuenta será la del mismo día en que se deposite el envío, siempre que el depósito se realice antes de la última hora de recogida señalada en el punto de acceso a la red de que se trate. Cuando el depósito se realice después de esa hora límite, la fecha de depósito que se tomará en cuenta será la del siguiente día de recogida.

<sup>23</sup>En la que  $D$  representa la fecha de depósito y  $n$  el número de días laborables que transcurren desde tal fecha hasta su entrega al destinatario.

<sup>24</sup>Artículo 45 del Real Decreto 1829/1999.

- b) **Paquetes Postales:**  $D + 3$  en un 80 %.  $D + 5$  en un 95 %.
- c) **Giros:**<sup>25</sup>  $D + 3$  en un 95 %.  $D + 5$  en un 99 %.

B) **Ámbito Internacional.**

- a) **Cartas y Tarjetas Postales:**  $D + 3$  en un 85 %.  $D + 5$  en un 97 %.
- b) **Paquetes Postales:**  $D + 3$  en un 85 %.  $D + 5$  en un 97 %.

Estos compromisos de calidad serán controlados por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, según recoge la Ley 3/2013 en su artículo 8.

### 2.4.2. Prestación del Servicio Postal Universal.

La prestación del servicio postal universal por parte del operador designado, se debe regir por los principios de equidad, no discriminación, continuidad, buena fe, y adaptación a las necesidades de los usuarios. Entendiéndose por ellos<sup>26</sup>:

- A) **Equidad.** Ofrecer a los usuarios que estén en condiciones similares el mismo tratamiento y prestaciones idénticas.
- B) **No discriminación.** Prestar el servicio sin diferenciación de ningún tipo entre los usuarios que se encuentren en condiciones análogas, especialmente las derivadas de consideraciones políticas, religiosas, raciales, sexuales, culturales o ideológicas o de discapacidad.
- C) **Continuidad.** No interrumpir ni suspender el servicio, salvo en caso de fuerza mayor y previa comunicación a la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, que podrá denegarla.

El operador designado debe realizar esta prestación de conformidad a una previsions establecidas en la Ley 43/2010, las cuáles se describen a continuación.

---

<sup>25</sup>No está incluido en el Servicio Postal Universal, pero sí esta regulado por la Ley 43/2010 en su disposición final tercera.

<sup>26</sup>Artículo 22.1 de la Ley 43/2010.



### **Condiciones de recogida y admisión.**

El operador u operadores designados por el Estado para la prestación del servicio postal universal deberán<sup>27</sup>:

- A) Realizar, al menos, una recogida en los puntos de acceso a la red postal todos los días laborables, de lunes a viernes, con independencia de la densidad de población e incluso en zonas rurales.
- B) Disponer de una cobertura adecuada al ámbito territorial para el que haya sido designado.
- C) No denegar la admisión de los envíos cuando estos reúnan los requisitos reglamentarios y se satisfaga el precio correspondiente.

### **Condiciones de distribución y entrega.**

El operador designado por el Estado para la prestación del servicio postal universal deberá realizar la entrega de los envíos postales en la dirección postal que figure en su cubierta<sup>28</sup>.

Las entregas, según la Ley 43/2010<sup>29</sup>, se practicarán, al menos, todos los días laborables, de lunes a viernes, salvo en el caso de concurrir circunstancias o condiciones geográficas especiales<sup>30</sup>.

En el Real Decreto 1829/1999 en Capítulo II, Sección 1ª, Artículos 32 a 38 recoge la normas generales de entrega de los envíos postales, desarrollándose en el Capítulo 4 con mas determinación.

---

<sup>27</sup>Artículo 23 de la Ley 43/2010.

<sup>28</sup>Procurará la entrega de aquellos envíos postales cuya dirección aun siendo incompleta, permita la identificación del destinatario.

<sup>29</sup>Artículo 24.

<sup>30</sup>Ver Artículo 36 del Real Decreto 1829/1999.

## 2.5. Mercado Postal Español.

El mercado postal abarca dos grandes segmentos: el denominado sector postal tradicional, que comprende básicamente la prestación de servicios de envíos de cartas y paquetes postales de reducido peso en condiciones estandarizadas, así como el envío de publicaciones periódicas, libros catálogos y publicidad directa; y las actividades de paquetería industrial, paquetería comercial y mensajería.

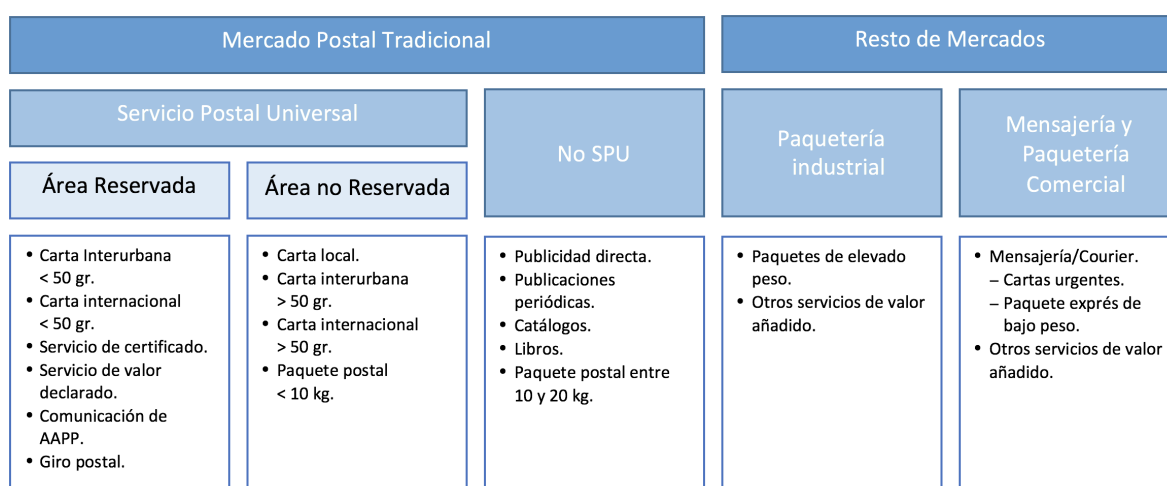


Figura 2.4: Estructura del mercado postal español.

Al tratar en esta tesis el servicio postal universal, a continuación, se describirán las características del mercado postal tradicional, teniendo en cuenta diversos factores.

### 2.5.1. Evolución del mercado postal tradicional.

El desarrollo de las tecnologías de las comunicaciones y los cambios en las necesidades de los consumidores, en las últimas décadas, han provocado la aparición de un proceso de sustitución de los servicios postales por otros medios de comunicación. Además de enfrentarse a la competencia de los servicios más especializados de las empresas de mensajería y paquetería.

La sustitución del envío de cartas documentos por comunicaciones electrónicas es elevada, especialmente en el ámbito empresarial, donde los envíos postales han formado

parte de los programas de reducción de costes.

El desarrollo de las comunicaciones electrónicas también afecta a las características de los servicios postales que demandan los consumidores. La inmediatez de las comunicaciones electrónicas incentiva en particular la sustitución de las comunicaciones postales urgentes por medios electrónicos. Los usuarios se muestran dispuestos, siempre que sea posible a preferir la inmediatez que permite la comunicación telemática, lo que exige una adaptación de la calidad de los servicios ofrecidos por los operadores postales.

El impacto de esta evolución tecnológica sobre el mercado postal tradicional se ha dejado sentir en España, mediante una menor respuesta del crecimiento de la demanda de estos servicios al crecimiento del PIB. Aunque en lo últimos esta tendencia esta cambiando como se puede ver en la siguiente gráfica:

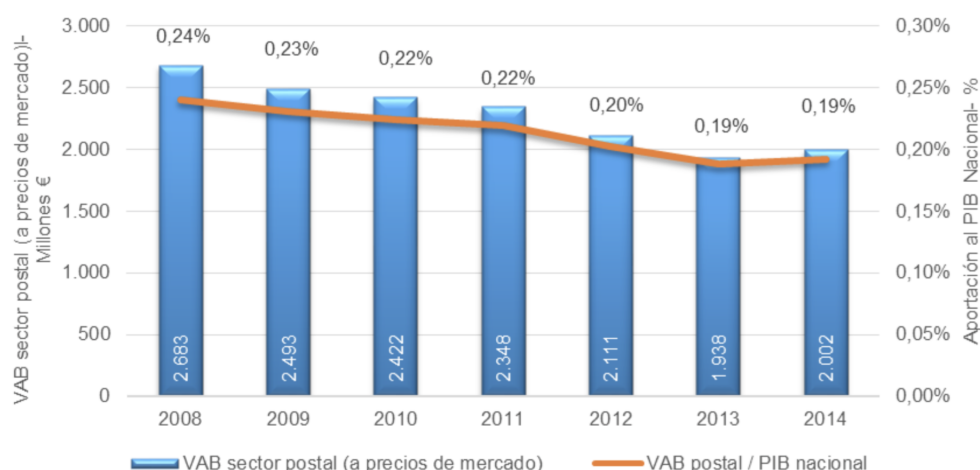


Figura 2.5: Aportación del sector postal al PIB español (2008-2014). Fuente: CNMC.

### 2.5.2. Características de la demanda.

La mayor parte de los envíos tiene como origen o destino organizaciones, siendo el tráfico entre particulares residual. Estas organizaciones participan en el 90% de los envíos y los principales flujos son de ellas hacia los hogares<sup>d1MyIC13</sup>. En la Memoria de 2008<sup>dF09</sup> del Ministerio de Fomento se estima que, en la UE-27, el 31% del flujo de

cartas corresponde a B2B, el 57 % a B2C y sólo el 12 % a C2X.

Esta composición de la demanda tiene como consecuencia que los operadores privados se centren casi exclusivamente en la demanda empresarial, que es mayor y generalmente mas rentable, mayor volumen de envíos por emisor o destinatario, y porque las empresas suelen estar localizadas en lugares de elevada densidad de población.

Dentro de esta importante concentración de la demanda en torno a clientes empresariales, destaca el peso de los grandes emisores. Estos usuarios tienen un importante poder de negociación frente a los operadores postales, con los que acuerdan individualmente las condiciones de prestación de servicios.

La distribución espacial de los demandantes de servicios postales tiene efectos sobre la estructura de costes de los operadores postales. La existencia de una baja densidad de población y la presencia de un gran número de zonas con una orografía complicada y de territorios insulares y/o alegados<sup>31</sup> condicionan las inversiones en redes postales nacionales.

### 2.5.3. Características de la oferta.

La prestación de servicios postales comprende un conjunto de actividades, vistas en el punto 2.3 de este capítulo. El conjunto de recursos productivos necesarios para realizar las distintas actividades se denomina “*red postal*”.

Según NERA<sup>Con04</sup>, las fases de reparto final<sup>32</sup> y de clasificación son las que mayor peso tiene en el coste final, como se puede ver en la figura 2.6.

En el proceso productivo postal existen importantes economías de escala<sup>33</sup> combina-

---

<sup>31</sup>Canarias, Baleares, Ceuta y Melilla.

<sup>32</sup>Distribución y entrega.

<sup>33</sup>Un proceso productivo presenta economías de escala cuando los costes unitarios de fabricación decrecen conforme se incrementa la cantidad de productos.

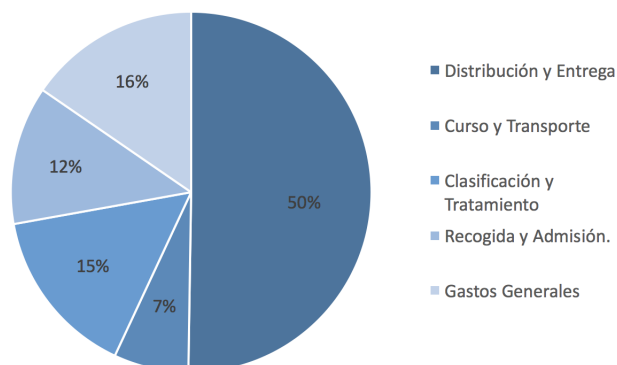


Figura 2.6: Costes de las distintas actividades del servicio postal. Fuente: NERA.

das con economías de alcance<sup>34</sup> y de densidad<sup>35</sup>, cuya magnitud es distinta según las distintas actividades y en función de las características del envío.

Diversos estudios<sup>MAR96 Big99 VdLM03</sup> sobre la magnitud de las economías de escala, densidad y alcance en el sector demuestran que:

- A) La actividad de recogida y admisión presenta economías de escala, su impacto sobre la eficiencia del proceso productivo es limitada por tratarse de un componente menor del coste total del servicio.
- B) En transporte, las economías de escala son muy pequeñas o no existen.
- C) Cuando la actividad de clasificación está automatizada aparecen importantes economías de escala para cada máquina, aunque se agotarían mucho antes de abarcar la totalidad del mercado. De hecho, es habitual que los grandes emisores realicen una preclasificación para la obtención de descuentos.
- D) La distribución y la entrega son las actividades que presentan economías de escala más relevantes.

<sup>34</sup> Aparecen en producciones multiproducto cuando el coste unitario de fabricación de un bien se reduce cuando se incorporan al proceso productivo otros bienes distintos que comparten medios de producción.

<sup>35</sup> Los costes unitarios, de distribución y entrega de los envíos, son menores conforme se incrementa la densidad de destinatarios de envíos en una zona.

Dichas economías están relacionadas con la densidad de puntos de reparto y con el número de artículos por punto de reparto. Conforme se incrementan los puntos de reparto aumentan los costes de distribución y entrega, hasta llegar a una situación en el que la densidad de puntos es tal que los trayectos no se modifican y cada punto de reparto adicional no genera apenas costes. Una vez que se acude a un punto de reparto, el coste de entregar un mayor número envíos es muy pequeño. Sólo si el volumen de envíos es muy grande, la capacidad de carga de los medios de distribución pueden superarse, agotando las economías de escala.

La magnitud de las economías de escala, en la distribución y entrega de envíos, dependen de una serie de variables entre las que destacan las siguiente:

- A) **Envíos.** En el reparto de cartas y tarjetas postales, al ocupar un menor volumen, se puede obtener mayores economías.
- B) **Densidad de puntos de entrega** en la zona de reparto. A mayor densidad, mayores economías de escala.
- C) **Tamaño de la zona de reparto.** Las economías de escala aumentan conforme se reduce el tamaño.
- D) **Frecuencia de reparto.** Cuanto mayor sea, menor volumen de envíos se acumulan para su distribución, y por tanto menores son las economías de escala.
- E) **Número de envíos por punto de reparto.** Los envíos masivos permiten alcanzar mayores economías de escala.

En definitiva, cuando los envíos se realicen individualmente, deban ser entregados rápidamente y su distribución no pueda ser planificada, no es probable que la demanda sea suficiente para permitir el aprovechamiento de las economías de escala en la recogida, y sobre todo en la distribución y entrega. Esto dificulta la rentabilización de la inversión en redes postales, especialmente en zonas con reducida densidad de población y una orografía complicada.

Es habitual distinguir dos áreas del mercado atendiendo a los costes unitarios de prestación del servicio postal tradicional:

- A) **Áreas de elevado coste.** Suele tratarse de zonas rurales, poco pobladas y con escasa densidad empresarial, donde el reducido volumen de envíos eleva los costes unitarios. En estas zonas es poco probable que existan varias redes competidoras simultáneamente. Además, el cumplimiento de las obligaciones de servicio público requiere la existencia de una red postal gestionada por el operador designado para prestar el servicio postal universal incluso en aquellos entornos en los que ésta no es rentable. Esta circunstancia, junto a la presencia de intensas externalidades de red en el sector, es una de las razones que justifica la obligación de que el operador postal designado para prestar el servicio postal universal facilite el acceso a la red a otros operadores.
- B) **Áreas de bajo coste.** Corresponden generalmente a zonas urbanas, con una elevada densidad de población y gran número de empresas. Las actividades de recogido y, en mayor medida, de reparto final presentan un coste unitario reducido gracias a la existencia de importantes economías de escala y densidad, que facilitan la rentabilización de la red postal. En estas zonas, la demanda puede ser suficientemente elevada para atraer la entrada de nuevos operadores. El volumen puede permitir que una duplicación de redes sea eficiente.

## 2.6. Conclusiones.

Tras realizar un breve estudio del sector postal en España, se han llegado a las siguientes conclusiones:

- A) El Servicio Postal Universal garantiza que todas las personas tengan acceso a la red postal, ya que existen zonas, donde el elevado coste de prestación del servicio postal, ahuyentan a los operadores postales.
- B) El operador designado, Sociedad Estatal Correos y Telegráfos, Sociedad Anónima, tiene la obligación de prestar el Servicio Postal Universal de forma permanente en todo el territorio nacional sin discriminación.
- C) El coste de la distribución y entrega de los envíos postales representa la mitad del coste de la actividad postal. Por lo que la optimización de las rutas de distribución y entrega representaría un gran ahorro para los operadores postales.

# 3

## Los Problemas de Rutas.

### Índice

---

<b>3.1. Introducción.</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>3.2. El Problema del Agente Viajero(TSP)</b> . . . . .	<b>39</b>
3.2.1. Modelización y Formulación. . . . .	41
<b>3.3. El Problema de Empaquetamiento en Compartimentos.</b> . .	<b>43</b>
3.3.1. Modelización y modelo matemático. . . . .	43
<b>3.4. Los Problemas de Rutas de Vehículos(VRP)</b> . . . . .	<b>44</b>
3.4.1. Definición. . . . .	45
3.4.2. Variantes. . . . .	46
3.4.3. Formulación. . . . .	52

---





## 3.1. Introducción.

Los problemas de rutas de vehículos (Vehicle Routing Problem, VRP) datan de 1959, cuando Dantzig y Ramser<sup>DR59</sup>, describieron una aplicación real de la entrega de gasolina a las estaciones de servicios y propusieron una formulación matemática. Clarke y Wright<sup>CW64</sup> en 1964 propusieron el primer algoritmo que resultó efectivo, dando así comienzo a una gran variedad de investigaciones y estudios en este área.

Los problemas de rutas de vehículos según Daza<sup>DMN13</sup>, pueden entenderse como la unión de dos importantes problemas de optimización combinatoria. El problema del agente viajero (Traveling Salesman Problem, TSP) y el de empaquetamiento en compartimentos (Bin Packing Problem, BPP).

Centrados en el problema de distribución, según Toht y Vigo<sup>TV14</sup> *“El problema de distribuir productos desde ciertos depósitos a sus usuarios finales juega un papel central en la gestión de algunos sistemas logísticos, y su adecuada planificación puede significar considerables ahorros”*. Estos ahorros, según los mismos autores<sup>TV14</sup>, pueden ser significativos, extendiéndose desde el 5 % hasta el 20 % de los costes totales.

En este capítulo se tratarán los tres problemas mencionados anteriormente. En el caso de los Problemas de Rutas de Vehículos (VRP), se realizarán un estudio más detallado de las distintas variables que han surgido de él. En cada uno se describirán sus características, además de enunciar los principales estudios y publicaciones sobre ellos. Todo esto para encontrar la mejor solución al problema propuesto en esta tesis.

## 3.2. El Problema del Agente Viajero(TSP)

*“Si un Agente parte de una ciudad y las distancias a las ciudades que tiene que visitar son conocidas, ¿cuál es la ruta óptima que debe seguir para visitar todas las ciudades y volver a la ciudad de origen?”* Esta podría ser una primera definición informal del Problema del Agente Viajero.

El problema del agente viajero (Traveling Salesman Problem, TSP) es uno de los problemas más famosos y más estudiados. A pesar de la aparente sencillez de su planteamiento, el problema del agente viajero es uno de lo más complejos de resolver.

El origen del término “*Traveling Salesman Problem*” es desconocido. La primera referencia a este término es un artículo de 1949 de Julia Robinson<sup>Rob49</sup>, “*On the Hamiltonian game (a traveling salesman problem)*”. Pero fue en la Universidad de Princeton, entre 1931 y 1932, donde se cita por primera este término.

En la década de 1930, se comenzó a trabajar sobre el problema. Donde Menger<sup>?</sup> enunció una de la propiedades más importantes de este problema, es NP-duro. Además propuso el Algoritmo del vecino más próximo.

En las décadas de los 50 y de los 60 el problema se hizo muy popular. Cabe destacar el artículo de Dantzig et al. del año 1954 “*Solution of a large-scale traveling salesman problem*”<sup>DFJ54</sup>. Donde se resuelve el problema del viajante para 49 ciudades. Este libro resulta de gran importancia por:

- Supuso un gran avance, al resolver un problema con un número grande de ciudades, teniendo en cuenta la carencia de programas informáticos.
- Se utilizó un algoritmo que sirvió de inspiración a muchos otros investigadores. La idea fue aplicar técnicas de programación lineal al problema de una forma innovadora dando lugar al método de los cortes de planos.

Desde este hito, mucho autores comenzaron a desarrollar otros algoritmos que fuesen aplicables al problema con un número cada vez mayor de ciudades. Estas investigaciones junto con el gran desarrollo experimentado por la informática, han hecho posible grandes avances en la resolución de estos Problemas.

Hasta el día de hoy, el Problema del Agente Viajero se ha aplicado sobre una gran variedad de problemas que van desde rutas de vendedores hasta genética.

### 3.2.1. Modelización y Formulación.

El Problema del Agente Viajero puede ser descrito según la teoría de grafos de la siguiente manera: Sea  $G = (V, A)$  un grafo completo, donde  $V = 1, \dots, n$  es el conjunto de vértices y  $A$  es el conjunto de arcos. Los vértices  $i = 2, \dots, n$  se corresponden con los clientes a visitar y el vértice 1 es la ciudad de origen y destino. A cada arco  $(i, j)$  se le asocia un valor no negativo  $C_{ij}$ , que representa el coste de viajar del vértice  $i$  al  $j$ . El uso de los arcos  $(i, i)$  no está permitido, por lo que se impone  $C_{ii} = \infty$  para todo  $i \in V$ . Si  $G$  es un grafo dirigido, la matriz de costes  $C$  es asimétrica mientras, que, si  $C_{ij} = C_{ji}$  para todo  $(i, j) \in A$ , la matriz de costes será simétrica y el problema recibirá el nombre de TSP simétrico. En ese caso, el conjunto de  $A$  se sustituye por un conjunto  $E$  de arcos no dirigidos  $(i, j)$  tales que  $i \neq j$ .

El objetivo del problema es encontrar una ruta que, comenzando y terminando en una ciudad, en este caso denotada por la ciudad 1, pase una sola vez por cada una de las ciudades y minimice la distancia recorrida. Si definimos las variables de decisión  $X_{ij}$  para todo  $(i, j) \in A$ , de forma que tomen el valor 1 si el arco  $(i, j)$  forma parte de la solución y 0 en el resto de casos; tenemos que el problema de programación lineal asociado al Problema del Agente Viajero consiste en minimizar la siguiente función objetivo<sup>?</sup>:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=0}^n \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n C_{ij} \cdot X_{ij} \quad (3.1)$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j \in \delta^-(i)} X_{ij} = 1, \forall i \in V \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in \delta^+(i)} X_{ij} = 1, \forall i \in V \quad (3.3)$$

Donde:

$$\delta^-(i) = a = (j, i) \in A \quad (3.4)$$

$$\delta^+(i) = a = (j, i) \in A \quad (3.5)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \forall (i, j) \in A \quad (3.6)$$

La primera restricción (3.2) se refiere a que sólo un arco puede entrar en vértice, mientras que la segunda (3.3) se refiere a que sólo un arco puede salir de nodo. Estas restricciones no son suficientes, pues pueden dar lugar a subcircuitos. Para modelizar esta última restricción es necesario nuevo conjuntos:

$$A(W) = a = (i, k) \in A : i, j \in W, \forall W \subset V \quad (3.7)$$

$$\delta^-(W) = a = (i, j) \in A : i \notin W, j \in W \quad (3.8)$$

$$\delta^+(W) = a = (i, j) \in A : i \in W, j \notin W \quad (3.9)$$

Así, las restricciones de ruptura de subcircuito pueden escribirse de la siguiente manera:

$$\sum_{(i,j) \in A(W)}^n X_{ij} \leq |W|, \forall W \subset V \quad (3.10)$$

Que es equivalente a:

$$\sum_{\substack{i \in W \\ j \notin W}}^n X_{ij} \geq 1, \forall W \subset V \quad (3.11)$$

Esta restricción indica que para todo subconjunto  $W$  de los nodos, deber haber al menos un arco que salga del subconjunto.

Otra forma de evitar la formación de subcircuitos es a través de la nuevas variables de decisión. Se define las variables  $u_i, \forall i \in V$ , que representa el lugar de la secuencia en el que se visita el nodo  $i$ . Para el nodo 1, el origen, prefijamos el valor de  $u_0$  en 1, pues en el primer nodo que se debe visitar. Para el resto de vértices, esta variables toman un

valor entre 2 y  $n$ . Para construir el problema de programación lineal debemos añadir a las dos primeras restricciones (3.2) (3.3) la siguiente:

$$u_i - u_j \leq (n - 1)(1 - X_{ij}) - 1, \forall (i, j) \in A, j \geq 1 \quad (3.12)$$

Con esto ya tendríamos definido el problema del agente viajero en programación lineal.

### 3.3. El Problema de Empaquetamiento en Compartimentos.

*Si queremos ir de viaje y solo disponemos de una maleta para meter todas nuestras cosas, ¿cómo metemos todas ellas en la maleta para poder aprovechar al máximo el espacio de la maleta?* Esta podría ser una definición informal del Problema de la Empaquetamiento en Compartimentos.

El Problema de Empaquetamiento (Bin Packing Problem, BPP) es una generalización del Problema de la Mochila (Knapsack problem, KP). Se trata, al igual que el Problema del Agente Viajero, de uno de los problemas más conocidos y estudiados debido a la gran cantidad de aplicaciones en diversas disciplinas (economía, matemáticas, informática, logística, etc.). Existen multitud de enfoques del problema que estudian tanto su especificación como estrategias de implementación eficiente.<sup>MT90 CK01 MPT00</sup>

#### 3.3.1. Modelización y modelo matemático.

El Problema del Empaquetamiento en Compartimentos puede ser descrito de la siguiente forma<sup>Mer03</sup>: Sean  $n$  objetos y un único compartimento. El objeto  $i$  tiene un peso o volumen  $w_i$  y un precio  $P_i$ , el compartimento una capacidad de carga  $W$ . Si una fracción  $X_i, 0 \leq x_i \leq 1$ , del objeto  $i$  es colocada en el compartimento, entonces se consigue una ganancia  $P_i \cdot X_i$ .

El objetivo es obtener un llenado del compartimento que maximice la ganancia. Dado que la capacidad del compartimento es  $W$ , necesitaremos que el peso o volumen total de todos los objetos no supere  $W$ .

Formalmente el problema se define como:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^n P_{ij} \cdot X_{ij} \quad (3.13)$$

Sujeto a:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot X_{ij} \leq W \quad (3.14)$$

Donde:

$$0 \leq X_i \leq 1, P_i > 0, w_i > 0, 1 \leq i \leq n \quad (3.15)$$

### 3.4. Los Problemas de Rutas de Vehículos(VRP)

El Problema de Rutas de Vehículos (Vehicle Routing Problem, VRP) es otro de los problemas más estudiados en Investigación Operativa. Definido en la Década de 1950, este problema consiste en diseñar el conjunto óptimo de rutas para una flota de vehículos que deben visitar a un determinado número de clientes. Al igual que el TSP, es de gran utilidad en problemas reales, pero tiene una considerable dificultad.

Estos problemas consisten en encontrar rutas óptimas de reparto desde uno o varios almacenes a un determinado número de ciudades o clientes de manera que se satisfagan ciertas restricciones. El objetivo del problema es repartir una mercancía a un conjunto de clientes con demandas conocidas, de manera que el coste total originado de esa operación sea mínimo.

Como se puede ver el VRP es una extensión del TSP donde la ciudad de origen es el depósito, denotado generalmente como el nodo 0, y se añaden nuevas restricciones.

Como se deduce de la definición, el VRP resulta extremadamente útil no sólo en problemas relacionados con el reparto y la recogida de bienes, sino también en una gran variedad de problemas reales ligados con los campos del transporte, la logística y la distribución. En general, el proceso de transporte de mercancías se encuentra presente en muchos de los sistemas de producción, representando una parte importante, entre el 10 % y el 20 %, del coste final del producto. Así, como la utilización de este tipo de problemas o procedimientos ha dado lugar a un ahorro entre el 5 % y el 20 % del coste total del transporte.<sup>TV14</sup>

El problema de ruta de vehículos es un problema de optimización combinatoria que también se encuadra dentro de la categoría de los problemas NP-duro. Para este tipo de problemas, como se ha visto anteriormente, cuando el tamaño de clientes es excesivamente grande, es deseable obtener soluciones aproximadas que puedan ser obtenidas con una rapidez relativa y que sean lo más exactas posibles a la solución óptima.

Dantzig y Ramser fueron los primeros autores que trataron este problema. En su artículo "*The Truck Dispatching Problem*"<sup>DR59</sup> proponían una solución basada en una formulación de programación lineal que daba lugar a una solución.

### 3.4.1. Definición.

Conocidas los clientes, sus demandas y las distancias entre ellos. El objetivo de este tipo de problemas es encontrar un conjunto de rutas de mínimo coste que cumplan:

- Cada cliente sea visitado una única vez por cada vehículo.
- Todas las rutas deben comenzar y acabar en el depósito.

Según la teoría de grafos, el VRP puede ser definido formalmente de la siguiente manera: Sea  $G = (V, A)$  un grafo completo, donde  $V = \{0, \dots, n\}$  es el conjunto de vértices, o clientes, y  $A$  es el conjunto de arcos. Los vértices  $i = 1, \dots, n$  se corresponden con los clientes a visitar y el vértice  $i = 0$  con el depósito. Para cada arco  $(i, j)$ , se le asocia un coste no negativo  $C_{ij}$ , que suele ser interpretado como el coste o el tiempo en el que se incurre al viajar de  $i$  a  $j$ . El uso de los arcos  $(i, i)$  no está permitido, por lo que se impone  $C_{ii} = \infty$  para todo  $i \in V$ . Si  $G$  es un grafo dirigido, la matriz de costes  $C$  es asimétrica, mientras que, si  $C_{ij} = C_{ji}$  para todo  $(i, j) \in A$ , la matriz de costes será



simétrica. En este caso, el conjunto de  $A$  se sustituye por un conjunto  $E$  de arcos no dirigidos  $(i, j)$ , tales que  $i \neq j$ .

### 3.4.2. Variantes.

A continuación se citan algunas de las más conocidas variantes del problemas VRP y sus restricciones asociadas: <sup>Med05 TV02 GG06 DMN13</sup>

#### CVRP (Capacitated VRP)

El problema CVRP (Capacited Vehicle Routing Problem) es una variante del VRP en el que una flota fija de vehículos deber servir a un conocido número de clientes desde un depósito central a coste mínimo. Su objetivo es el de minimizar la flota de vehículos, y la suma de los tiempos de las rutas, además, la demanda total de cada cliente no debe exceder nunca la capacidad del vehículo que sirve a dicho cliente. <sup>LN83 LDN84 RHG01</sup>

Para resolver esta variante se han desarrollado distintos algoritmos, exactos y aproximados. Entre los exactos, ha sido resuelto por ramificación y corte <sup>Jan93 DAS<sup>+</sup>08</sup> y mediante integración lineal <sup>TT08 Sha98</sup>.

Dentro de los algoritmos aproximados, ha sido ampliamente estudiado mediante los siguientes métodos: búsqueda tabú <sup>Reg01 Oli04</sup>, algoritmos genéticos <sup>PTMC02 TPMC03 Oli04</sup>, colonias de hormigas <sup>Oli04 BG10</sup>, algoritmos de clusterización <sup>ZDH10</sup> y algoritmos híbridos <sup>WK97 Pri04</sup>.

Cabe destacar los estudios realizados en los últimos años de 2L-CVRP y 3L-CVRP <sup>KBW<sup>+</sup>17 EFÁMGGE<sup>+</sup>16 ZWL15</sup>, donde además de tener en cuenta la capacidad del vehículo, se analiza la posición de los objetos dentro de ellos, teniendo en cuenta sus dimensiones, fragilidad, orden de reparto, etc.

#### MDVRP (Multi-Depot VRP)

Una empresa puede tener varios depósitos desde donde puede servir a sus clientes. Si los clientes están agrupados alrededor de los depósitos, el problema de distribución podría ser modelado como un grupo de VRPs independientes. Sin embargo, si los

clientes y los depósitos están entremezclados, su modelado es diferente, a través del MDVRP (Multipel Depot Vehicle Routing Problem).<sup>LNT88 Hjo95</sup>

Este tipo de problemas requiere una asignación de cada cliente a un depósito, que dispone de su propia flota de vehículos. Cada uno de ellos, debe salir de un depósito, servir al cliente y regresar al mismo depósito de salida.

El objetivo del MDVRP es el de dar servicio a todos los clientes y minimizar el número de vehículos y de distancia recorrida por los mismos.

Los métodos de solución de este problemas ha sido ampliamente estudiado por Francis et al. (2008)<sup>FST08</sup>, donde desarrolla diferentes métodos exactos, heurísticos y meta heurísticos para su resolución.

Dentro de las investigaciones realizadas, se han propuesto diferentes métodos exactos para su resolución, entre las que cabe destacar los algoritmos de ramificación y acotación<sup>CDF89</sup> y *Cluster firts-Routen second*<sup>TUV01</sup>. Entre los estudios de métodos aproximados utilizados para resolver estos problemas destacar el algoritmo tabú<sup>RLB96 CCL07</sup>, algoritmos genéticos<sup>HHJL08</sup>, algoritmos de recocido<sup>WLB02</sup> y colonia de hormigas<sup>BRÁR02</sup>.

### PVRP (Periodic VRP)

En un VRP clásico el periodo de planificación es un único día. En el caso del PVRP (Periodic Vehicle Routing Problem), este VRP clásico es generalizado extendiendo el horizonte de planificación hasta  $M$  días.<sup>BOZ02 FS06</sup>

El objetivo es minimizar la flota de vehículos y la suma de los tiempos de transporte para servir a todos los clientes.

Para que una solución sea factible todas las restricciones del problema deben ser satisfechas, además, un vehículo no tiene por qué volver al depósito en el mismo día que salió de él. Durante los  $M$  días que dura el horizonte de planificación cada cliente deber ser visitado al menos una vez.

Al igual que en el anterior caso, Francis et al. (2008)<sup>FST08</sup>, propone diversos métodos de solución exactos, heurísticos y meta heurísticos, además de un método de relajación langrangiana para esta variable del VRP.

Este problema ha sido estudiado de forma habitual por métodos aproximados, entre los que destacar: búsqueda tabú<sup>CGL97MPZC05AAB08</sup>, algoritmos genéticos<sup>DOV01</sup>, colonias de hormigas<sup>MO04</sup> y VNS (*Variable Neighborhood Search*)<sup>HDH09</sup>.

### SDVRP (Split Delivery VRP)

SDVRP (Split Delivery Vehicle Routing Problem) es una relajación del problema genérico VRP en el que se permite que el mismo cliente sea visitado por diferentes vehículos si se reducen los costes globales. Esta relajación es realmente importante si el tamaño de las demandas del cliente es tan grande como la capacidad de los vehículos.<sup>DLT94AMS01AS07</sup>

En general es más complicado obtener una solución óptima del SDVRP que del problema genérico.<sup>DT89</sup>

Esta variante ha sido objeto de estudio por varios, que al igual que en los casos anteriores, han presentado diferentes métodos de solución, entre ellos: Programación Integral Mixta<sup>UWH10</sup>, Programación Integral Mixta Lineal<sup>BMM00</sup>, algoritmo de búsqueda de ruta más corta<sup>LEWB06</sup>, *Cluster first-Routen second*<sup>JLB07</sup>, búsqueda tabú<sup>ASH06</sup>, algoritmo genético<sup>Jin2007a</sup> y mediante heurística<sup>ASS08CGW07</sup>.

### SVRP (Stochastic VRP)

Los problemas SVRP (Stochastic Vehicle Routing Problem) son problemas VRP en los que uno o varios componentes del problema (número de clientes, tiempo de servicio, tiempo de recorrido, etc.) son aleatorios<sup>CR78DT86BK92GLS96JBQ02</sup>.

Los diferentes tipos de SVRP son :

- Clientes estocásticos: Cada cliente  $i$  está presente con una probabilidad  $P_i$  y está ausente con una probabilidad de  $1 - P_i$ .
- Demandas estocásticas. La demanda  $D_i$  de cada cliente es una variable aleatoria.
- Tiempos estocásticos. Los tiempos de servicio  $Ts_i$  y los tiempos de transporte  $Tt_i$  son variables aleatorias.

Es un SVRP se llevan a cabo dos etapas para llegar a una solución. Una primera solución es determinada antes de saber el valor de las variables. En la segunda etapa, se lleva a cabo una acción correctiva, cuando los valores de las variables ya son conocidos.

Laporte et al. (2002)<sup>LLVH02</sup> propuso un método de resolución mediante programación entera lineal. A este estudio le siguieron otros autores Park and Hong (2003)<sup>PH03</sup> y Bianchi et al.<sup>BBC+04</sup> que propusieron distintos algoritmos para resolverlos. Destacar la investigación de Chepuri and Homem-De-Mello (2005)<sup>Kri</sup>, donde tienen en cuenta la demanda.

### VRPB (VRP with Backhauls)

El problema VRPB (Vehicle Routing Problem with Backhauls) es como un VRP clásico en el que los clientes pueden recibir o entregar productos. Así se necesita un VRPPD para tener en cuenta las mercancías que los clientes devuelven deben caber en el vehículo que le acaba de hacer la entrega. El supuesto fundamental de que todas las entregas se pueden hacer antes de iniciar las devoluciones puede tenerse en cuenta.<sup>JBG92 JBG92 RHG01</sup>

Las cantidades que se deben entregar y recoger son conocidas de antemano. Un VRPB es similar al VRPPD pero con la restricción estricta de que las entregas para cada ruta deben ser completadas antes de realizar ninguna devolución.

El objetivo es encontrar un conjunto de rutas que minimice la distancia total recorrida.

- Cada circuito visite el origen.

- Cada cliente sea visitado por un único circuito.
- La demanda total de los clientes visitados, entrega y recogida, no supere, de forma separada, la capacidad del vehículo.
- En cada ruta, las entregas preceden a la recogidas.

Una de las soluciones viables del problema consiste en un conjunto de rutas en las que se hayan completado todas las rutas antes de tomar cualquier devolución y la capacidad del vehículo se mantiene sin cometer ninguna sobrecarga.

La resolución de esta variable del VRP se ha basado principalmente en la búsqueda de algoritmos exactos<sup>TV97 MGB99</sup> y en la búsqueda tabú<sup>Bra06 OW02</sup>.

### **VRPPD (VRP with Pick-Up and Delivering)**

El VRPPD (Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Deliverign) es una variante del VRP donde se contempla la posibilidad de que un cliente que ha recibido un envío disponga además de cierta mercancías que necesita ser recogida. Por lo tanto, se debe tener en cuenta que los productos que los clientes introducen en el vehículo no deben nunca exceder la capacidad del vehículo. Esta restricción dificulta aún más el problema de planificación y puede conllevar una mala utilización de la capacidad de vehículos, incrementar las distancias recorridas o la necesidad de utilizar una flota más amplia.<sup>Kir83 Min89 Rig00 Det01</sup>

Por consiguiente es habitual considerar situaciones restrictivas en las que todos los envíos comienzan en el depósito y todas las devoluciones vuelven al depósito central. Así se impide la posibilidad de intercambio de mercancías entre clientes. Una alternativa es la de relajar la restricción de que todos los clientes deber ser visitados al menos una vez. Y otra simplificación habitual es la de considerar que cada vehículo debe entregar todos los productos antes de comenzar con las devoluciones.

Así pues, el objetivo es minimizar la flota de vehículos y la suma de los tiempos de transporte con la restricción de que cada vehículo debe tener suficiente capacidad para transportar los productos que van a ser entregados y aquellos que debe recoger en cada

cliente para traerlos de vuelta al depósito.

Las primeras soluciones fueron descritas en 1992<sup>Hal92</sup>. Desde entonces se ha utilizado la heurísticas y la meta heurística para encontrar soluciones. En los estudios de heurísticas destaca los métodos de búsqueda tabú<sup>GHL94 MG06</sup> y diversos algoritmos<sup>BR07 NS05 D+02</sup>.

En meta heurística ha sido ampliamente estudiado mediante algoritmos genéticos<sup>Vur03 Pan05a Pan05b GN07 Vur07</sup> y colonias de hormigas<sup>Har96 DGH+01 AK09</sup>. Además de búsqueda tabú<sup>NB00</sup> y algoritmos de simulado recocido.<sup>Har96</sup>

### **VRPSF (VRP with Satellite Facilities)**

Un importante aspecto del VRP que ha sido ampliamente ignorado es el uso de instalaciones satélites para reponer la carga de los vehículos que ya ha sido servido durante una ruta. Poseer una instalación satélite posibilita que los conductores continúen con las entregas hasta el final de su turno, sin la necesidad de volver al depósito. Esta situación surge sobre todo en la distribución de combustibles y ventas al por menor.<sup>BHDJ98 YMB00</sup>

En este problema destacar los estudios de Bard(1998)<sup>BHDJ98</sup>, Gonzalez-Feliu et al. (2008)<sup>GFPTV08</sup> y Villegas et al. (2010)<sup>VPP+10</sup>

### **VRPTW (VRP with Time Windows)**

El VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows) es el mismo problema que el VRP solo que considera las restricciones que obliga a que los clientes sean servidos en un determinado periodo de tiempo. El objetivo es minimizar la flota de vehículos, la suma de los tiempos de viaje y el tiempo de espera necesario para abastecer a todos los clientes en las horas requeridas.<sup>Sol84 CGdedreaddM00 KLMS05</sup>

Este tipo de problemas están caracterizado por las siguientes restricciones adicionales:

- Una solución es inviable si un cliente es atendido después de su hora límite.
- Un vehículo que llega a un cliente antes de la hora programada causa un tiempo de espera adicional en la ruta.

- Cada ruta debe empezar y terminar dentro de la ventana de tiempo asociada a cada cliente.

En el caso de una ventana de tiempo relajada, un servicio tardío no afectará a la viabilidad de la solución pero será penalizada aumentando el valor de la función objetivo.

Esta variable del VRP ha sido la más estudiada. Savelsbergh<sup>Sav85</sup>, en 1985, fue uno de los pioneros en proponer métodos algorítmicos de optimización y búsqueda local para resolverlos. Desde entonces han sido varios los autores y los métodos usados para su resolución. En 1987, Salomon<sup>Sol87</sup> propuso diferentes heurísticas (algoritmos de ahorro, algoritmos de barrido y algoritmos de inserción).

Desde esos primeros estudios, han sido diversos autores los que han facilitado numerosos métodos, entre los que destacar: Búsqueda tabú<sup>TBG+97 Oli04</sup>, colonia de hormigas<sup>GT99 BS03 PMB06</sup>, algoritmos genéticos<sup>LYY99 Zhu00 BG01</sup> y otros métodos<sup>BVH04 GJDLM10</sup>, entre los que destacar Xiao et al (2012)<sup>XL12</sup>, en el cuál se tiene en cuenta los semáforos.

### 3.4.3. Formulación.

Si definimos la variable de decisión  $X_{ij}$  para todo  $(i, j) \in A$ , de forma que tomen el valor 1 si el arco  $(i, j)$  ha sido visitado y 0 en el resto de casos; tenemos que el problema de programación lineal asociado al Problema de Rutas de Vehículos consiste en minimizar la siguiente función objetivo<sup>CM11</sup>:

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} \cdot X_{ij} \quad (3.16)$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j \in V} X_{ij} = 1, \forall i \in V \setminus 0 \quad (3.17)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ij} = 1, \forall j \in V \setminus 0 \quad (3.18)$$

$$\sum_{i \in V} X_{i0} = K \quad (3.19)$$

$$\sum_{j \in V} X_{i0} = K \quad (3.20)$$

$$\sum_{i \notin V} \sum_{j \in V} X_{ij} \geq r(S), \forall S \subseteq V \setminus 0, S \neq \emptyset \quad (3.21)$$

Donde:

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in V \quad (3.22)$$

Las restricciones (3.17) y (3.18) imponen que sólo un arco entre y salga de cada vértice, respectivamente. Análogamente, (3.19) y (3.20) imponen que del depósito salgan y vuelvan  $K$  vehículos. La restricción (3.21) imponen la restricción de de capacidad y de conexión de las soluciones. Estas restricciones estipular que cada partición  $(S, V \setminus S)$  debe ser atravesada por un número de arcos que no puede ser inferior a  $r(S)$  (número mínimos de vehículos necesarios para servir al conjunto  $S$ ). Generalmente, este valor  $r(S)$  se calcula a partir de un BPP, pero las restricciones siguen siendo válidas si  $r(S)$  es sustituido por  $\lceil d(S) \setminus C \rceil$ .

Una formulación alternativa puede obtenerse transformando (3.21) en las ya mencionadas restricciones de rotura de subcircuito.

$$\sum_{i \notin V} \sum_{j \in V} X_{ij} \leq |S| - r(S) \quad (3.23)$$

Lo que implica que al menos  $r(S)$  arcos deben abandonar el conjunto  $S$ . Tanto las restricciones (3.21) como la (3.23) tienen un cardinal que crece exponencialmente, con  $n$  lo que hace prácticamente imposible resolver directamente este problema de programación lineal entera.

Para evitar este problema, se puede definir otra familia de restricciones con cardinal polinómico:

$$u_i - u_j + C \cdot X_{ij} \leq C - D_j, \forall i, j \in V \setminus \{0\}, i \neq j \quad (3.24)$$



$$D_i \leq u_i \leq C, \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (3.25)$$

Donde  $u_i \in V \setminus \{0\}$ , es una variable continua adicional que representa la carga del vehículo tras visitar el nodo  $i$ . Es fácil observar que las restricciones (3.24) y (3.25) imponen las restricciones de capacidad y de conexión. De hecho cuando  $X_{ij} = 0$ , la restricción (3.24), no “restringe”, pues  $u_i \leq C$  y  $u_j \geq D_j$ ; y cuando  $X_{ij} = 1$  imponen que  $u_j \geq u_i + D_j$ . Nótese que de esta forma también se consigue eliminar subcircuitos.

Esta formulación ha sido muy utilizada para variantes sencillas del VRP, pero generalmente es inadecuada para variantes más complejas. De hecho, sólo puede ser utilizada cuando el coste total de la solución pueda ser expresado como suma de costes asociados a los arcos visitados. Por lo tanto, este tipo de formulación no es apto para problema donde el coste de la solución dependa de la secuencia global de ciudades o del tipo de vehículos que se asigne a cada ruta.

Para solventar los inconvenientes de la formulación anterior es necesario indicar el vehículo que recorre cada arco. Dicha formulación tiene variables binarias  $X : X_{ijk}$  toma el valor 1 si el arco  $(i, j)$  es atravesado por el vehículo  $k$  en la solución, y 0 en el resto de casos. Además, hay variables binarias  $y_{ik} (i \in V; k = 1, \dots, K)$ , que toman el valor 1 si el nodo  $i$  es visitado por el vehículo  $k$  en la solución, y 0 en el resto de casos. El VRP de Capacidad viene dado entonces por:

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k=1}^K C_{ij} \cdot X_{ijk} \quad (3.26)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^K Y_{ik} = 1, \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (3.27)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{0k} = K \quad (3.28)$$

$$\sum_{i \in V} X_{ijk} = \sum_{j \in V} X_{jik} = Y_{ik}, \forall i \in V, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3.29)$$

$$\sum_{i \in V} D_i \cdot X_{ijk} \leq C, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3.30)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \notin V} X_{ijk} \geq Y_{hk}, \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, h \in S, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3.31)$$

$$Y_{ik} \in \{0, 1\}, \forall i \in V, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3.32)$$

$$X_{ikj} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in V, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3.33)$$

Las restricciones (3.27), (3.28) y (3.29) imponen que cada cliente sea visitado una vez, que  $K$  vehículos abandone el depósito y que el mismo número de vehículos entren y salgan de cada cliente, respectivamente. Las ecuaciones (3.30) son las restricciones de capacidad de los vehículos y (3.31) son las restricciones de rotura de subcircuitos. De nuevo esta última se puede reemplazar por:

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \notin V} X_{ijk} \leq |S| - 1, \forall S \subseteq V \setminus \{0\}, |S| \geq 2, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3.34)$$

Que impone que, para cada vehículo  $k$ , al menos un arco abandone cada conjunto de vértices visitado por  $k$  y que no contenga al depósito. Alternativamente, y de forma análoga a las restricciones (3.24) y (3.25), se pueden usar las siguientes restricciones:

$$u_{ik} - u_{jk} + C \cdot X_{ijk} \leq C - D_j, \forall i, j \in V \setminus \{0\}, i \neq j, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3.35)$$

$$D_i \leq u_{ik} \leq C, \forall i \in V \setminus \{0\}, \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (3.36)$$

Nótese que estas restricciones también reemplazan las restricciones de capacidad (3.30).

Con estos tenemos la base, a partir de la cuál se planteará nuestro modelo matemático,

añadiendo nuevas restricciones y teniendo en cuenta diversas peculiaridades del problema a resolver.

# 4

## Descripción del Problema.

### Índice

---

<b>4.1. Introducción.</b> . . . . .	<b>59</b>
<b>4.2. Descripción del problema.</b> . . . . .	<b>59</b>
<b>4.3. El Proceso de Entrega.</b> . . . . .	<b>61</b>
4.3.1. Normas Generales. . . . .	61
4.3.2. Resumen. . . . .	65
<b>4.4. Medio de distribución.</b> . . . . .	<b>66</b>
4.4.1. A pie. . . . .	66
4.4.2. En moto. . . . .	67
<b>4.5. Envíos.</b> . . . . .	<b>68</b>
4.5.1. Línea Básica. . . . .	68
4.5.2. Línea Urgente. . . . .	71
4.5.3. Línea Económica. . . . .	73
4.5.4. Paquetería. . . . .	76
4.5.5. Servicios Financieros. . . . .	81
4.5.6. Servicios Telegráficos. . . . .	82
<b>4.6. Puntos de entrega.</b> . . . . .	<b>83</b>
4.6.1. Individuales. . . . .	84

4.6.2. Colectivos. . . . .	84
4.6.3. Masivos. . . . .	85
4.6.4. Concentrados. . . . .	86
<b>4.7. Resumen. . . . .</b>	<b>87</b>
4.7.1. Resumen Tiempos. . . . .	87
4.7.2. Resumen de medidas. . . . .	88

---

## 4.1. Introducción.

Es este capítulo se definirá el problema que se quiere modelar matemáticamente en esta tesis a través de la programación lineal, usando los problemas de rutas de vehículos anteriormente definidos.

Para ello se describirá el proceso de entrega en una Unidad de Reparto, desde que el repartidor recibe los envíos hasta que los entrega en sus respectivos punto de entrega.

Es importante conocer las características de los envíos, los medios de distribución y los puntos de entrega. Ya que sus características, nos harán comprender mejor el problema, para realizar el modelo lo más exacto posible al proceso.

## 4.2. Descripción del problema.

Todos los días llega a la Unidad de Reparto una cantidad de envíos de distintas clases, las cuáles se verán a continuación. Cada Unidad tiene designados un número conocidos de repartidores, los cuáles a su vez tienen designado un área de reparto, con sus puntos de entrega, y un medio de distribución acorde a esa área.

Estos repartidores tienen que realizar la entrega de los envíos asignados a su zona, en los puntos de entrega. Se debe tener en cuenta, que ellos tienen una jornada laboral de 7 horas y media, de las cuáles dedican a la entrega 4 horas, pudiendo llegar hasta las 4 horas y media, dedicando el tiempo sobrante a la organización de los envíos para su entrega.

No es esta la única restricción con la que contamos, también tenemos que tener en cuenta la capacidad de los medios de reparto, al no ser infinitos. Ya sea a pie, mediante carros, o en vehículo, moto o coche, cada uno de ellos tiene una capacidad limitada.

Otro factor importante es el envío, cada envío tiene una prioridad, peso y dimensiones distintas. Por lo que es necesario conocerlos para poder saber como tratarlos.

Antes de empezar el reparto, los repartidores deben organizar los envíos, teniendo en cuenta sus prioridades y la ruta que van a seguir. Una vez organizados, deben llenar el medio de distribución con los envíos asignados. Una vez llegados aquí, nos puede suceder dos cosas: que entren todos los envíos en el carro o vehículo o que nos falte espacio.

El primero de los casos es lo mejor que nos puede suceder, ya que en un sólo viaje llevamos todos los envíos. Mientras que el segundo caso, obliga a reorganizar los envíos, teniendo en cuenta la prioridad que tiene cada uno. Los envíos registrados e internacionales, tienen prioridad sobre los ordinarios, debiéndolos llevar siempre con nosotros.

Esto nos deja dos posibles opciones con los que nos sobran, volver a la unidad de reparto para realizar tanto viajes como nos haga falta o hacer sacas de alcance. Las sacas de alcance, son sacas especiales donde se pueden meter los envíos que no entren en el vehículo, para que una persona asignada, a primera hora, la lleve hasta un punto de alcance existente, normalmente a mitad de la ruta, para que se pueda cargar los envíos en el vehículo sin necesidad de volver a la unidad de reparto.

Una vez preparado el vehículo, se procede a la entrega de los envíos a los destinatarios de ellos, ya sea en casilleros domiciliarios o en persona, según el envío. Los casilleros domiciliarios, pueden ser de varios tipos (individuales, colectivos, masivos y concentrados), encontrándose en lugares de fácil, fachadas, o difícil acceso, dentro de conjuntos de viviendas, repercutiendo en el tiempo de entrega.

El objetivo del problema es optimizar las rutas de cada repartidor teniendo en cuenta los tiempos (recorrido, entrega, acceso) y la capacidad de los vehículos asignados a cada uno de ellos.

### 4.3. El Proceso de Entrega.

La Entrega, según el Real Decreto 1829/1999<sup>1</sup>, *“es el reparto de los envíos en la dirección postal en ellos consignados.”*

Para conocer dicho proceso, es necesario seguir las norma en vigor. En el Real Decreto 1829/1999, en sus artículos 32 a 44, se describen las normas generales de entrega, así como los diversos casos según el punto de entrega y la modalidad del envío. A continuación, se realiza un breve resumen de dichas normas y situaciones.

#### 4.3.1. Normas Generales.

Según el Real Decreto 1829/1999<sup>2</sup>, *“los envíos postales deberán entregarse al destinatario que figure en la dirección del envío o a la persona autorizada<sup>3</sup> en el domicilio del mismo, en casilleros domiciliarios, en apartados postales, oficina, así como en cualquier otro lugar que se determine...”*

Entendiéndose por persona autorizada: *“las persona mayores de edad presentes en su domicilio que sean familiares suyos o mantengan con él una relación de dependencia o convivencia.”*

El destinatario o persona autorizada que se haga cargo del envío tendrá que identificarse, ante el empleado del operador postal que efectúe la entrega, mediante la exhibición de su documento nacional de identidad, pasaporte, permiso de conducción o tarjeta de residencia.

Se entiende por domicilio postal: *“el conjunto de datos geográficos que permitan identificar el lugar de entrega de los envíos.”* Está compuesto por los siguientes elementos:

A) Tipo y denominación de la vía pública.

---

<sup>1</sup>Artículo 14.3.h)

<sup>2</sup>Artículo 32.1

<sup>3</sup>Siempre que no exista prohibición expresa del remitente.



- B) Número de la finca.
- C) Datos de la vivienda o local.
- D) Número de casillero domiciliario postal.
- E) Localidad.
- F) Código postal.

Estos elementos pueden sustituirse por otros datos cuando la entrega se realice en oficinas de la red postal pública o cuando las persona físicas o jurídicas concierten otra forma de entrega con el operador al que se ha encomendado la prestación del servicio postal universal.

En el caso de que no se pueda realizar la entrega, por ausencia o causa justificada, en el domicilio. Se entregarán en oficina dicha correspondencia, al igual que la dirigida a oficina. El operador determinará los plazos de permanencia de los envíos en dichas oficinas.

#### **Entrega de envíos postales a domicilio.**

Todos los envíos postales incluidos en el ámbito del servicio postal universal<sup>4</sup> deberán ser entregado en el domicilio que conste en la dirección postal.

Cuando se trate de envíos certificados o con valor declarado, sólo podrán entregarse, contra recibo, a los respectivos destinatarios o a la persona autorizada.

#### **Entrega de envíos postales mediante depósito en casilleros domiciliarios.**

La entrega de envíos postales de carácter ordinario podrá realizarse en los casilleros domiciliarios instalados a tal efecto, siempre que sus dimensiones lo permitan.

---

<sup>4</sup>Ver Capítulo 2. Punto 4. El Servicio Postal Universal.

Los casilleros deben reunir las características necesarias que garanticen la propiedad, el secreto y la inviolabilidad de los envíos postales, ajustándose a las características normalizadas que establezca en cada momento las normas técnicas aplicables al sector postal.

En los inmuebles sujetos al régimen de propiedad horizontal se podrá hacer la entrega en los casilleros domiciliarios siempre que su número sea igual al de locales y viviendas susceptibles de aprovechamiento independiente.

Los casilleros domiciliarios deben estar numerados, correlativamente, a contar de izquierda a derecha y de arriba abajo, ordenados por pisos y puertas. Estos datos se fijarán obligatoriamente en el casillero, pudiendo también figurar los nombres y apellidos de los residentes en la vivienda o la denominación social en caso de ser una persona jurídica el titular del local o vivienda.

El bloque o bloques de casilleros domiciliarios se instalarán en un lugar de fácil acceso que esté bien iluminado y que tenga suficientes garantías de protección contra manipulaciones ilícitas, debiendo empotrarse o fijarse en la pared de modo que no puedan ser trasladados de lugar y estén colocados a una altura que permita su cómoda utilización.

Si el operador al que se ha encomendado la prestación del servicio postal universal, o cualquier otro de los operadores, tuviesen conocimiento de la existencia de inmuebles que no dispusiesen de casilleros domiciliarios, se comunicará esta circunstancia a la comunidad de vecinos correspondientes, a fin de que tomen las medidas oportunas para su instalación, advirtiéndoles que, mientras tanto, la entrega de los envíos dirigidos a sus vecinos se realizará en la oficina postal que corresponda.

En los inmuebles que sean viviendas unifamiliares o locales comerciales o industriales independientes, la entrega podrá hacerse en un casillero domiciliario situado cerca de la primera puerta de entrada o sobre ella, de forma que permita el depósito de los envíos desde el vial público, y en el que figurarán obligatoriamente el nombre de la calle y el número, u otros datos identificativos de la dirección postal como el nombre de la urbanización o polígono y el número de la parcela, pudiendo también figurar los nombres y apellidos de los residentes en la vivienda o la denominación social, en caso de ser una

persona jurídica el titular del local o la vivienda.

### **Entrega de envíos postales en apartados.**

El operador la que se ha encomendado la prestación del servicio postal universal podrá establecer apartados para la entrega de envíos postales a las personas físicas, jurídicas, públicas o privadas.

El apartado de envíos se hará en casilleros y, por razones justificadas del volumen, la densidad de envíos postales o la naturaleza de los mismos, en el interior de la oficinas.

Los envíos postales apartados en el interior de las oficinas serán entregados al titular del apartado o persona autorizada expresamente.

### **Entrega de envíos postales en oficina.**

Los remitentes podrán dirigir los envíos postales a una determinada oficina postal, los cuales se entregarán al destinatario previa identificación de su personalidad.

Asimismo, se entregará en oficina todo envío que, por ausencia u otra causa justificada, no haya podido entregarse al destinatario o a la persona autorizada en su domicilio, comunicando su existencia mediante aviso de llegada depositado en el casillero domiciliario.

### **Entrega de envíos postales en entornos especiales o cuando concurren circunstancias o condiciones excepcionales.**

En los entornos especiales<sup>5</sup> la entrega de envíos postales ordinarios se realizará a través de buzones individuales no domiciliarios, masivos, y de casilleros concentrados pluridomiciliarios.

En todo caso, la entrega de los envíos postales a través de buzones individuales y de casilleros concentrados pluridomiciliarios, como sistemas alternativos y excepcionales. a la entrega en el domicilio, se realizará todos los días laborables y, al menos cinco días a

---

<sup>5</sup>Ver Artículo 37.4 del Real Decreto 1829/1999

la semana.

El operador al que el Estado ha encomendado la prestación del servicio postal universal podrá convenir con los usuarios o sus representantes, los ayuntamientos competentes, así como los promotores y demás entidades responsables de la proyección, construcción y mantenimiento de las edificaciones del entorno afectado, el establecimiento, ubicación y financiación de instalaciones apropiadas para la entrega de los envíos postales ordinarios.

Si las viviendas o edificaciones del entorno afectado no dispusiesen de las instalaciones apropiadas para la entrega de los envíos postales o éstas no se encontrasen en condiciones de uso adecuadas, el operador encargado de la prestación del servicio postal universal facilitará la entrega de los envíos postales en la oficina postal más próxima, previa comunicación escrita a los destinatarios de dicha circunstancia.

#### 4.3.2. Resumen.

Al tratar en esta tesis la entrega del servicio postal universal, solo voy a tener en cuenta el proceso de entrega en los domicilios y en los casilleros domiciliarios. Debido a esto, se puede distinguir dos formas de entrega según el tipo de envío:

- **Entrega de envíos ordinarios.** Se realizan en los casilleros domiciliarios.
- **Entrega de envíos certificados o con valor declarado.** Se realiza la entrega al destinatario o persona autorizada.

Según los casilleros domiciliarios, la entrega puede ser en casilleros:

- **Individual.** Viviendas unifamiliares, locales comerciales o industriales independientes.
- **Colectivo.** Conjunto de viviendas, locales comerciales o industriales.
- **Concentrados.** Entornos especiales.
- **Masivo.** Nueva construcción o privadas.

## 4.4. Medio de distribución.

En la Unidades de Reparto existen dos clases de repartidos, los que van a pie y lo que usan vehículo, dividiéndose este último según el vehículo utilizado, moto o coche. A cada uno de ellos, se le asigna un medio de distribución según el tipo de envío y el área de reparto.

A continuación, se describirán las características del medio utilizado en el reparto a pie y en moto:

### 4.4.1. A pie.

Se realiza con ayuda de un carro, el cual tiene tres compartimentos. Cada uno de esos compartimentos dispone de un candado para no permitir su robo.

Las dimensiones de cada uno de los compartimentos son: Compartimento principal, 400x600x240 mm; Compartimento delantero, 400x540x150 mm; y Compartimento trasero, 350x400x150 mm.



Figura 4.1: Carro de Reparto de Correos.

Según un informe publicado por el Sindicato de Correos CGT-Asturias en 2013<sup>6</sup>, el tiempo estipulado para recorrer 1 kilómetro es de 16 minutos, siendo la **velocidad media** de **3,75 km/h**.

#### 4.4.2. En moto.

Las motos disponen de un cofre, que es igual siempre, en la parte trasera. Dicho cofre tiene unas medidas interiores de 490x490x350 mm.



Figura 4.2: Moto de Reparto de Correos.

Según un informe publicado por el Sindicato de Correos CGT-Asturias en 2013, visto anteriormente, el tiempo estipulado para recorrer 1 kilómetro es de 3 minutos, siendo la **velocidad media** de **20 km/h**.

---

<sup>6</sup>[www.cgtcorreosfederal.es/sites/default/files/LIBRO%20REPARTO.pdf](http://www.cgtcorreosfederal.es/sites/default/files/LIBRO%20REPARTO.pdf)

## 4.5. Envíos.

Cada operador postal tiene una oferta de productos para satisfacer las demanda de sus clientes. Al estar este estudio basado en el Servicio Postal Universal, se va a tener en cuenta los productos del operador designado, Correos.

Correos tiene una gran variedad de productos, pero debido a que esta tesis se basa en la entrega de productos a domicilio, ya sea en buzones o casilleros domiciliarios o bajo firma, se va a proceder a describir los productos que normalmente se trabajan en una Unidad de Reparto.

De estos envíos se va a describir sus características básicas relativas a: forma de entrega, ámbito, plazos de entrega, peso máximo permitido y dimensiones, mínimas y máximas , permitidas.

Los productos se han dividido en cinco Líneas o grupos, los cuales se verán a continuación<sup>7</sup>

### 4.5.1. Línea Básica.

Son los productos tradicionales del correo publico, aquellos que satisfacen las necesidades básicas de comunicación escrita de los ciudadanos. Se caracterizan por un tratamiento postal prioritario, plazos de entrega cortos y regulares.

Los productos incluidos en esta Línea forman parte del Servicio Postal Universal que ha de prestarse de forma permanente en todo el territorio nacional e internacional y a un precio asequible para todos los clientes, como ya se vio en el primer capítulo.

### **Carta y Tarjeta Postal Ordinaria Nacional e Internacional.**

Se entiende por carta cualquier documento y objeto hasta 2 kilos, cuyo contenido no se indique ni pueda conocerse, con carácter actual y personal: Una carta comercial, una invitación, un extracto financiero,... Con todas las garantías de confidencialidad

---

<sup>7</sup>Toda la información relativa de los envíos ha sido sacada de [www.correos.es](http://www.correos.es)

y fiabilidad, la posibilidad de añadir servicios adicionales, total cobertura nacional e internacional y entrega a domicilio, depositándolos en los casilleros domiciliarios.

Las tarjetas postales son piezas rectangular de cartulina consistente o material similar, que lleve o no el título de tarjeta postal, circula al descubierto y contiene un mensaje de carácter actual y personal.

El ámbito de estos productos son Nacional, España y Andorra, e Internacional, distinguiendo dos zonas. La Zona 1 se corresponde con los envíos, con destino o llegada, de Europa, incluida Groenlandia, y la Zona 2 con el resto de países.

Los plazos de entrega, promedio origen/destino ( $D + n$ ), para estos envíos son: En el ámbito local, de un día hábil; en el provincial, de dos días hábiles; en el nacional, de tres días hábiles; en la Zona 1, de dos a cuatro días hábiles; y en la Zona 2, depende del operador de dicho país.

Al estar incluidos en el Servicio Postal Universal, deben de cumplir los requisitos de calidad impuestos por el Real Decreto 1829/1999, en su artículo 45. Entrega del 93 % en 3 días laborables y del 99 % en 5 días laborables en el ámbito nacional. Entrega del 85 % en 3 días laborables y del 97 % en 5 días laborables.

Como ya se ha dicho anteriormente, las cartas admiten un peso máximo de 2 kilos, mientras que las tarjetas postales, 20 gramos.

Las dimensiones máximas de las cartas en forma de caja o sobre, la suma de sus lados no puede superar los 90 centímetros, sin que la mayor dimensión exceda de 60 centímetros. En forma de tubo o rollo, el largo más dos veces el diámetro, no puede superar los 104 centímetros, sin que la mayor dimensión exceda de 90 centímetros. Las dimensiones mínimas de las cartas en forma de caja o sobre son de 14 por 9 centímetros, mientras que en forma de rollo, el largo mas la suma de dos veces su diámetro debe ser mayor a 17 centímetros, sin que la mayor dimensión sea inferior a 10 centímetros.

Para el caso de las tarjetas postales, su dimensión máxima es de 23,5 por 12 centíme-



tros. Y su dimensión mínima de 14 por 9 centímetros. Teniendo en ambos casos una tolerancia de 2 milímetros.

### **Carta Certificada Nacional e Internacional.**

Se utiliza para el envío de documentación importante: contratos, notificaciones administrativas y judiciales, presupuestos firmados... Estos circulan con carácter registrado e identificados individualmente mediante una etiqueta con código de barras adheridas en el anverso.

Los envíos se entregan bajo firma en el domicilio del destinatario, si no se pudiera realizar la entrega, se dejará un aviso en el buzón y deberá recogerlo el destinatario en la oficina asignada.

El ámbito, los plazos de entrega, los criterios de calidad, el peso máximo y las dimensiones, son iguales que las descritas anteriormente para las tarjetas postales y cartas ordinarias.

### **Notificación Administrativa.**

Son envíos certificados para uso exclusivo de Organismos Oficiales o Entidades Públicas que requieren la prueba fehaciente de la entrega de las comunicaciones de carácter legal. con la garantía de que los procesos de entrega son los establecidos por la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.

Todas las notificaciones deben disponer gratuitamente de control y seguimiento sobre la entrega. Siendo su ámbito España.

En cuanto a los plazos de entrega, los criterios de calidad, el peso máximo y las dimensiones, nos remitimos a lo especificado para ello en el apartado de cartas ordinarias.

### **Resumen.**

En la siguiente figura se puede ver un resumen de las características de los productos que componen la línea básica:

DENOMINACIÓN		PLAZOS DE ENTREGA	CALIDAD	PESO MÁXIMO	DIMENSIONES	
					MÍNIMA	MÁXIMO
Tarjeta Postal	B <sub>ON</sub>	Local: 1 día hábil. Provincial: 2 días hábiles. Nacional: 3 días hábiles.	93%: 3 días hábiles. 99%: 5 días hábiles.	20 gr.	14x9 cm.	23,5x12 cm.
Carta Ordinaria Nacional						
Carta Ordinaria Internacional	B <sub>OI</sub>	Europa: 2 a 4 días hábiles. Resto: Según país.	85%: 3 días hábiles. 97%: 5 días hábiles.	2 Kg.	14x9 cm. L+2∅=17 cm (10 cm).	L+A+A=90 cm (60 cm). L+2∅=104 cm (90 cm).
Carta Certificada Nacional	B <sub>CN</sub>	Local: 1 día hábil. Provincial: 2 días hábiles. Nacional: 3 días hábiles.	93%: 3 días hábiles. 99%: 5 días hábiles.			
Carta Certificada Internacional	B <sub>CI</sub>	Europa: 2 a 4 días hábiles. Resto: Según país.	85%: 3 días hábiles. 97%: 5 días hábiles.			
Notificación Administrativa	B <sub>NA</sub>	Local: 1 día hábil. Provincial: 2 días hábiles. Nacional: 3 días hábiles.	93%: 3 días hábiles. 99%: 5 días hábiles.			

Figura 4.3: Características de los Productos de la Línea Básica.

#### 4.5.2. Línea Urgente.

Los productos urgentes se caracteriza por la brevedad de los tiempos de tratamiento y entrega de los envíos.

##### Carta Urgente Nacional e Internacional.

Producto que permite enviar con carácter urgente documentos o mercancías en un envío cerrado cuyo contenido no se indique ni pueda conocerse, o en cualquier caso con carácter actual y personal. Estos envíos se depositarán en en el buzón del domicilio del destinatario.

El ámbito es el mismo que para las cartas ordinarias nacionales e internacionales, con la excepción de Austria, USA y Brasil.

El plazo de entrega en el ámbito nacional es de 24 horas. En el ámbito internacional, en la Zona 1, de 1 a 3 días, y en la Zona 2, depende del operador del país.

El peso máximo en los envíos nacionales es de 500 gramos, mientras que en los internacionales es de 2 kilos.

Las dimensiones máximas y mínimas son las descritas anteriormente para los envíos de cartas ordinarias, recomendándose, para que sea posible introducirlas en el buzón, una medias máximas de 23,5 por 12 centímetros con un espesor máxima de 10 milímetros.

### **Carta Certificada Urgente Nacional e Internacional.**

Se caracteriza por una mayor rapidez, seguridad y confidencialidad para envíos registrados de hasta 2 kilos y con entrega en el domicilio bajo firma.

Las características son las mismas que para las cartas certificadas nacionales e internacionales: ámbito, peso y dimensiones. El plazo de entrega para el caso de envíos nacionales es de 24 horas, mientras que para los envíos internacionales, depende de la zona, siendo en la Zona 1, de 1 a 3 días, y en la Zona 2, depende del operador del país.

### **Correo Urgente Internacional.**

Este servicio es para documentos de hasta 2 kilos con carácter urgente, seguimiento informatizado, depósito en buzón y entrega en plazo determinado a los principales países europeos.

Actualmente se presta en los siguientes países:

- A) **Europa:** Austria, Alemania, Bélgica, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, Estonia, Finlandia, Francia, Gibraltar, Grecia, Hungría, Irlanda, Isla de Jersey, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Rusia, Suecia, Serbia, Suiza.
  
- B) **Resto de Países:** Arabia Saudita, Aruba, Australia, Barbados, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Israel, Hong Kong, Líbano, Malasia, Maldivas, México, Nueva Zelanda, República Dominicana, Singapur y Turquía.

El plazo de entrega en los países de Europa, es de 2 a 4 días hábiles<sup>8</sup>, y para el resto de países de 4 a 6 días.

Las dimensiones máximas se corresponden a las de las cartas ordinarias, siendo las dimensiones mínimas de 15 por 10 centímetros.

### Resumen.

En la siguiente figura se puede ver un resumen de las características de los productos que componen la línea urgente:

DENOMINACIÓN		PLAZOS DE ENTREGA	CALIDAD	PESO MÁXIMO	DIMENSIONES	
					MÍNIMA	MÁXIMO
Carta Urgente Nacional	U <sub>ON</sub>	24 horas.		500 gr	14x9 cm. L+2Ø=17 cm (10 cm).	L+A+A=90 cm (60 cm). L+2Ø=104 cm (90 cm).
Carta Urgente Internacional	U <sub>OI</sub>	Europa: 1 a 3 días hábiles. Resto: Según país.		2 Kg.		
Carta Certificada Urgente Nacional	U <sub>CN</sub>	24 horas.				
Carta Certificada Urgente Internacional	U <sub>CI</sub>	Europa: 1 a 3 días hábiles. Resto: Según país.				
Correo Urgente Internacional	U <sub>CIU</sub>	Europa: 2 a 4 días hábiles. Resto: 4 a 6 días hábiles.				

Figura 4.4: Características de los Productos de la Línea Urgente.

### 4.5.3. Línea Económica.

La Línea Económica comprende los siguientes envíos:

#### Cecogramas.

Este servicio permite el envío de cartas cecográficas abiertas y los clisés con signos de cecografía. Además en el ámbito internacional se permite en envío de grabaciones sonoras y papel especial destinado únicamente para el uso de ciegos. Se trata de un

<sup>8</sup>Entregándose en las principales ciudades de Europa en 2 días hábiles.

servicio que se presta de forma gratuita siempre que se expidan o estén dirigidos a un instituto de ciegos oficialmente reconocido.

El ámbito de este servicio es universal, circula por todos los países. En el territorio nacional, España y Andorra, se entregará el 90% de los envíos en 4 días hábiles. Mientras que en el ámbito internacional, de 5 a 8 días hábiles.

El peso máximo es de 7 kilos. Las dimensiones, máximas y mínimas, son las mismas que las descritas para las cartas ordinarios.

### **Publibuzón.**

Permite realizar en toda España y Andorra, acciones publicitarias o promocionales para la captación de clientes, sin necesitar de una base de datos, directamente por buzono, mediante comunicaciones en las que no figura ningún dato sobre la identidad del destinatario.

Tiene la opción de seleccionar los barrios y zonas geográficas en función de la zona de influencia de los puntos de venta del cliente o del público objetivo al que éste se quiera dirigir.

El peso máximo que permite este producto es de 100 gramos, siendo las dimensiones máximas y mínimas las descritas ya anteriormente en las cartas ordinarias.

El plazo de entrega en el territorio nacional del 90% de los envíos es de 4 días hábiles.

### **Publicorreo.**

Son los envíos destinados a la promoción y venta de bienes y servicios. Pueden llevar objetos y mercancías promocionales. Estos envíos deben cumplir, entre otros requisitos, los siguientes:

- A) Estar formados por comunicaciones publicitarias o promocionales, muestras, catálogos, estudios de mercado o publicidad, a las que podrán acompañar objetos o mercancías.

- B) Tener contenido similar, aunque el nombre, la dirección y el número o código de identificación que se asigne a sus destinatarios sean distintos en cada caso.
- C) Ser envíos con dirección. Las señas podrán figurar en el objeto mismo o en su envoltura.

El ámbito y los plazos de entrega, son iguales que los de los cecogramas. Siendo el peso máximo de 500 gramos. Las dimensiones al igual que ocurre con los cecogramas, son las descritas para las cartas ordinarias.

### **Publicorreo Óptimo.**

Es el clásico marketing directo, envíos personalizados de publicidad que permiten ser manipulados automáticamente, para que las pymes y autónomos puedan realizar campañas de marketing directo más ágiles y eficaces.

Son envíos buzzoneables de hasta 800 gramos de peso, destinados, a la promoción y venta de bienes y servicios. Podrán incluir, además, objetos o mercancías promocionales siempre que este hecho no impida su tratamiento automatizado y su posterior entrega en el casillero domiciliario.

Al igual que el publicorreo, deben cumplir unos requisitos, ya descritos anteriormente lo más importantes a la hora de este estudio. Su ámbito es España y Andorra.

Como ya se ha dicho, el peso máximo es de 800 gramos. Siendo las dimensiones máximas de 23 por 33 por 2 centímetros, y las mínimas de 9 por 14 centímetros.

### **Publicorreo Premium.**

Es un producto con características similares al Publicorreo Óptimo: ámbito, dimensiones, acondicionamiento, etc. Las diferencias más notables son:

- A) Mayor flexibilidad en su formato y forma.
- B) Están pensados especialmente para envíos tridimensionales que contengan muestras u objetos promocionales.

C) Peso hasta 2 kilos.

### **Libros, Periódicos y Publicaciones Periódicas.**

Este servicio ofrece a las empresas del sector editorial, la entrega de libros por correo a domicilio y con fiabilidad. Deben tratarse de una publicación encuadrada o en fascículos enviada por empresas editoriales, distribuidoras o centros de enseñanza por correspondencia autorizados, siempre que no contengan otra publicidad que la que figure en la cubierta. También se incluye el material fonográfico y videográfico.

Para el caso de periódicos y publicaciones periódicas, estas deben editarse con un plazo fijo, el mismo título en cada ejemplar y un contenido de índole diversa.

Estos servicios tiene un ámbito Nacional, España y Andorra, e Internacional. El plazo entrega en el ámbito nacional es de 6 días hábiles, el 95 % de los envíos. Mientras que en el internacional, en Europa es de 3 a 8 días hábiles y en el resto depende del operador.

Las características de peso y dimensiones, nos remitimos otra vez a las indicadas para la carta ordinaria.

### **Resumen.**

En la siguiente figura se puede ver un resumen de las características de los productos que componen la línea económica:

#### **4.5.4. Paquetería.**

Son envíos que contienen cualquier objeto, producto o materia, con o sin valor comercial, cuya circulación por la red posta no esté prohibida y todo envío, que conteniendo publicidad directa, libros, catálogos, publicaciones periódicas, cumpla los requisitos establecidos en el Real Decreto 1829/1999<sup>9</sup> para su admisión en esta modalidad.

---

<sup>9</sup>Ver artículos 13, 15 y 16.

DENOMINACIÓN		PLAZOS DE ENTREGA	CALIDAD	PESO MÁXIMO	DIMENSIONES	
					MÍNIMA	MÁXIMO
Cecogramas	E <sub>CE</sub>	Nacional: 4 días hábiles. Internacional: 5-8 días hábiles.		7 Kg.	14x9 cm. L+2Ø=17 cm (10 cm).	L+A+A=90 cm (60 cm). L+2Ø=104 cm (90 cm).
Publibuzón	E <sub>PB</sub>			100 gr.		
Publicorreo	E <sub>PC</sub>			500 gr.		
Publicorreo Óptimo	E <sub>PO</sub>			800 gr.	14x9 cm.	33x23x2 cm.
Publicorreo Premium	E <sub>PP</sub>					
Libros	E <sub>LI</sub>	Nacional: 6 días hábiles. Europa: 3-8 días hábiles. Resto: Según países.		2 Kg.	14x9 cm. L+2Ø=17 cm (10 cm).	L+A+A=90 cm (60 cm). L+2Ø=104 cm (90 cm).
Periódicos y Publicaciones Periódicas	E <sub>PE</sub>					

Figura 4.5: Características de los Productos de la Línea Económica.

Abarca los siguientes productos:

### Paquete 48.

Es un servicio para envío de paquetes y documentos, con y sin valor comercial, a cualquier punto del territorio nacional, Andorra y Portugal. Este servicio ofrece los servicios opcionales<sup>10</sup> de Reembolso, Seguro a todo riesgo, Prueba de entrega, Entrega exclusiva al destinatario.

Este producto consta de 4 modalidades de entrega: Entrega en domicilio, entrega en oficina elegida, logística inversa y entrega en HomePaq<sup>11</sup>.

Permite el envío de productos de hasta 30 kilos de peso real, o 60 kilos de peso volumétrico<sup>12</sup>.

<sup>10</sup>Excepto Portugal.

<sup>11</sup>Buzones de tamaño adaptado a paquetería que se instalan en comunidades de vecinos para la recogida o entrega de paquetería.

<sup>12</sup>Relación entre el peso y el tamaño del producto. Se calcula mediante la siguiente fórmula:  $Largo \times Ancho \times Alto / 6000$



La suma de las dimensiones (Largo, alto y ancho) del producto no puede ser mayor de 210 centímetros, ni ninguna de ellas sobrepasar los 120 centímetros, en forma de caja. En forma de tubo la longitud máxima es de 120 centímetros y el diámetro máximo de 30 centímetros. Las dimensiones mínima en forma de caja es de 15 por 10 centímetros, y las de tubo, la que permitan adherir una etiqueta de 14,5 por 10 centímetros.

Los plazos de entrega son de 48 horas a los envíos con origen y destino en España peninsular y Andorra. Aumentando el plazo de entrega hasta los 4 días, para el caso de envíos con origen o destino no peninsular.

### **Paquete 72.**

Este producto está diseñado para distribuir envíos con o sin valor comercial, en los que el cliente no precisa distribuir los envíos con carácter de urgencia.

Al igual que el Paquete 48, presenta diferentes modalidades de entrega, añadiendo a las del Paquete 48 la de entrega de oficina de referencia.

El ámbito, los pesos máximos y las dimensiones mínimas y máximas, son las mismas que las descritas anteriormente para el Paquete 48.

Los plazos de entrega son de 72 horas a los envíos con origen y destino en España peninsular. Aumentando hasta los 5 días, para el caso de envíos con origen o destino no peninsular.

### **Paquete Azul.**

Servicio, perteneciente al Servicio Postal Universal, de entre de paquetería a domicilio. Este producto circula registrado y se entrega bajo firma del destinatario o persona autorizada. Se puede tratar con o sin valor comercial.

El ámbito es nacional, España y Andorra, permitiendo en envío de hasta 20 kilos de

peso real y 30 kilos de peso volumétrico.

La suma de las dimensiones (Largo, alto y ancho) no puede superar los 200 centímetros, ni ninguna por separado los 100 centímetros, en forma de caja. En forma de rollo o tubo, la longitud máxima es de 100 centímetros y el diámetro máximo de 15 centímetros. Las dimensiones mínimas, en forma de caja son de 14 por 9 centímetros y en forma de rollo o tubo, el lado más largo medirá como mínimo 10 cm, además la longitud mas el doble del diámetro de ser al menos de 17 centímetros.

Al encontrarse este producto dentro del Servicio Postal Universal, se debe cumplir unos requisitos de calidad en el plazo de entrega, entregar el 80 % en 3 días hábiles y el 95 % en 5 días hábiles.

### **Paquete Express Internacional.**

Es un producto diseñado para distribuir envíos, con o sin valor comercial, en los que el cliente necesite distribuir los envíos con carácter de urgencia a cualquier destino internacional. Los envíos se encaminan por una red logística y se entregan bajo firma, lo que otorga a este producto un tratamiento y seguridad privilegiados.

El ámbito es internacional, dividiéndose en 5 zonas: Zona A, Europa Cercana<sup>13</sup>; Zona B, resto de Europa, Norte del Magreb y Turquía; Zona C, América; Zona D, Asia, Oriente Medio y Oceanía; y Zona E, África.

Las dimensiones, mínimas y máximas, son las mismas que las descritas para el Paquete Azul, pero siendo la dimensión mayor de 105 en vez de 100 centímetros. El peso máximo permitido para estos envíos es de 30 kilos.

Los plazos de entrega depende de cada Zona, por lo que no se tiene una referencia exacta. En el caso de España, a la hora de la entrega, es tratado como un envío urgente,

---

<sup>13</sup>Alemania, Austria, Azores, Bélgica, Dinamarca, Francia, Gibraltar, Grecia, Guernesey, Irlanda, Isla de Jersey, Isla de Man, Italia, Luxemburgo, Madeira, Malvinas, Mónaco, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, San Marino, Suecia, Suiza y Vaticano.

con máxima prioridad de entrega.

### **Paquete Postal Internacional Prioritario.**

Son envíos internacionales de paquetes con un plazo de entrega preferente, utilizando vías logísticas directas y sin intermediarios hasta su destino. Se utiliza para el envío de objetos y mercancías de hasta 30 kilos, los cuales están registrados individualmente y son entregados al destinatario bajo firma, con una amplia cobertura en todo el ámbito internacional.

El ámbito de entrega, al igual que el Paquete Express Internacional, se divide en las 5 mismas zonas. Siendo el plazo de entrega en Europa de 3 a 6 días hábiles, mientras que en el resto de países depende del operador.

El peso máximo de estos productos como se ha visto anteriormente es de 30 kilos, y las dimensiones, mínima y máximas, se corresponden a las del paquete azul, al igual que el Paquete Express Internacional.

### **Paquete Postal Internacional Económico.**

Este producto permite el envío de mercancías y objetos a todo el mundo, de una forma económica. Se realiza mediante el registro de los envíos y la entrega se realiza bajo firma.

Los plazos de entrega, al ser un producto económico, son un poco mas flexibles a los del Paquete Postal Prioritario, siendo de 8 a 10 días hábiles en Europa y en el resto de países dependiendo como siempre del operador.

El ámbito, las dimensiones y el peso máximo, son igual que las del Paquete Postal Internacional Prioritario.

### Resumen.

En la siguiente figura se puede ver un resumen de las características de los productos que componen la paquetería:

DENOMINACIÓN		PLAZOS DE ENTREGA	CALIDAD	PESO MÁXIMO	DIMENSIONES	
					MÍNIMA	MÁXIMO
Paq 48	P <sub>48</sub>	Capitales provincias: 24/48 h. Península y Andorra: 48 h. Baleares y Portugal: 48/72 h. Canarias, Ceuta y Melilla: 3-4 días		30 Kg. P.V: 60 Kg.	15x10 cm. 10x14,5 cm (Tubo).	L+A+A=210 cm (120 cm). L=120 cm. D=30 cm.
Paq 72	P <sub>72</sub>	Península, Andorra y Mallorca: 48/72 h. Resto Baleares: 2-4 días. Canarias, Ceuta y Melilla: 4-5 días. Portugal: 3-4 días.				
Paquete Azul	P <sub>PA</sub>		80%: 3 días hábiles. 95%: 5 días hábiles.	20 Kg. P.V: 30 Kg.		L+A+A=200 cm (100 cm). L=100 cm. D=15 cm.
Postal Express Internacional	P <sub>EI</sub>					
Paquete Postal Internacional Prioritario.	P <sub>IP</sub>	Europa: 3-6 días hábiles. Resto: Según país.		30 Kg. SPU: 20 Kg.	14x9 cm. L+2Ø=17 cm (10 cm).	L+A+A=200 cm (105 cm). L=100 cm. D=15 cm.
Paquete Postal Internacional Económico.	P <sub>IE</sub>	Europa: 8-10 días hábiles. Resto: Según país.	85%: 3 días hábiles. 97%: 5 días hábiles.			

Figura 4.6: Características de los Productos de la Paquetería.

#### 4.5.5. Servicios Financieros.

Este servicio permite ordenar un pago a cualquier persona o entidad de la misma o distinta localidad dentro del territorio nacional y entrega domiciliaria u oficina, garantizando la cantidad girada.

##### Giro Nacional Ordinario.

Es el servicio prestado en todo el territorio nacional, España y Andorra. El plazo de entrega es de 3 a 5 días hábiles. Siendo la cantidad máxima de dinero a domicilio de 499,99 Euros.

##### Giro Nacional Urgente.

Es igual que el Giro Nacional Ordinaria, aunque la entrega se realiza de forma mas rápida, 6 horas si existe Unidad de Reparto Especial o al día siguiente en los demás

casos.

### Resumen.

En la siguiente figura se puede ver un resumen de las características de los productos que componen los servicios financieros:

DENOMINACIÓN		PLAZOS DE ENTREGA	CALIDAD	PESO MÁXIMO	DIMENSIONES	
					MÍNIMA	MÁXIMO
<b>Giro Nacional Ordinario.</b>	F <sub>GO</sub>	3-5 días hábiles.	95%: 3 días hábiles. 99%: 5 días hábiles.	499,99 Euros		
<b>Giro Nacional Urgente.</b>	F <sub>GU</sub>	24 horas.				

Figura 4.7: Características de los Productos de los Servicios Financieros..

#### 4.5.6. Servicios Telegráficos.

Son aquellos productos que satisfacen las necesidades de los usuarios a la transmisión de datos, mensajes, etc., utilizando una red de telecomunicaciones y una infraestructura informática para enviar de manera urgente y segura documentos que requieran una entrega fehaciente, siendo de pruebas frente terceros.

##### Telegramas.

El servicio de Telegrama posibilita el envío urgente de mensajes con entrega registrada en el ámbito nacional, cursados por medios electrónicos. Los telegramas son todo mensaje escrito destinado a se transmitido a través de la red de telecomunicaciones, de forma que se haga constancia del texto enviado y con validez legal y entrega urgente.

En el ámbito nacional, el plazo de entrega es de 24 horas.

##### Buofax.

El servicio de Buofax consiste en un servicio de telecomunicaciones que permite intercambiar imágenes de documentos entre aparatos facsímil u otros equipos capaces

de trabajar en formato Fax.

El servicio de Burofax se presta tanto en el servicio nacional como en el internacional, entre oficinas, con entrega al destinatario, en domicilio o en oficina. Se entrega bajo firma y tiene carácter de prueba frente a terceros.

Los plazos de entrega, al igual que el telegrama, se realiza en 24 horas.

### Resumen.

En la siguiente figura se puede ver un resumen de las características de los productos que componen los servicios telegráficos:

DENOMINACIÓN		PLAZOS DE ENTREGA	CALIDAD	PESO MÁXIMO	DIMENSIONES	
					MÍNIMA	MÁXIMO
Telegramas	T <sub>TE</sub>	24 horas				
Burofax	T <sub>BU</sub>					

Figura 4.8: Características de los Productos de los Servicios Telegráficos.

## 4.6. Puntos de entrega.

Por último, se tratarán los puntos de entrega, que son de muy diversa índole. En este apartado, se han dividido en 4 grupos: individuales, colectivos, masivos y concentrados. Los cuales se tratarán a continuación.

Se describirán cada uno de ellos y sus características, sobre todo las relacionadas con la situación.

### 4.6.1. Individuales.

Son los puntos de entrega situados en viviendas unifamiliares, locales comerciales o industriales independientes. Existiendo uno para cada vivienda o local.



Figura 4.9: Buzón Individual.

Suelen estar situados en la fachada del inmueble junto a la puerta de acceso, siendo la entrega de envíos rápida, debido a su fácil acceso.

### 4.6.2. Colectivos.

Estos puntos de entrega son los que se encuentran en bloques de viviendas, grupos de viviendas unifamiliares o locales comerciales o industriales, ... Se caracteriza por encontrarse los buzones o casilleros domiciliarios agrupados en un punto, normalmente en el pasillo de entrada junto a la puerta de acceso. También se pueden encontrar en el exterior, pero esto es menos habitual.

El tiempo de entrega depende del tiempo de acceso a los casilleros, ya que hay que acceder a ese punto, pudiendo ser un tiempo considerable, y del número de ellos



Figura 4.10: Buzón Colectivo.

existentes.

Para ver el número de viviendas existentes en un punto de entrega, se puede utilizar Cartociudad, la cuál ofrece información de la cartografía oficial de la Administración General del Estado en el ámbito urbano. Con ella, de forma gráfica, pinchando sobre las viviendas de una ciudad se puede obtener los datos relativos a números de viviendas.

### 4.6.3. Masivos.

En las urbanizaciones privadas, debido a que no se puede acceder. Existe un único buzón junto a la entrada, donde se deja toda la correspondencia de las viviendas, siendo repartida por la persona designada<sup>14</sup> por el administrador del complejo.

Los envíos registrados o con valor declarado, ante la imposibilidad de acceso y de comunicación con la vivienda del destinatario, es avisado y depositado en el buzón. Aunque a veces la persona encargada del correo, esta autorizada a recogerlos por los destinatarios.

---

<sup>14</sup>Normalmente es un trabajador de la urbanización: Jardinero, mantenimiento, seguridad o conserje.





Figura 4.11: Buzón Masivo.

En estos puntos, la entrega es rápida, sin necesidad de acceder a los complejos, ya que se encuentran junto a la puerta principal.

#### 4.6.4. Concentrados.

En los diseminados de las ciudades, se puede dar el caso que exista en un punto un concentrado de buzones. Este concentrado contiene los buzones individuales de las viviendas existentes en ese diseminado.

Estos puntos se encuentran junto a una vía de fácil acceso para el repartidor, en la vía de acceso a la zona de reparto. La entrega en sí, es rápida. Pero los envíos certificados o con valor declarado, al no ser posible acceder a las viviendas debido, sobre todo a las condiciones de los caminos, se avisan y se mandan a oficina.

En este caso, al igual que en los casilleros colectivos, el tiempo de entrega depende del número de buzones existentes. Es esta ocasión no se puede utilizar la herramienta cartociudad, por lo que debemos recurrir a los datos existentes en la Unidad de Reparto asignada a esa zona.



Figura 4.12: Buzón Concentrado.

## 4.7. Resumen.

A continuación se detallan los tiempos y volúmenes asignados a cada uno de los componentes de este proceso en función de sus características.

### 4.7.1. Resumen Tiempos.

Los tiempos que se considerarán en este estudio son:

#### Tiempos recorrido.

Las velocidades medias a tener en cuenta para el cálculo de los tiempos de recorrido en función del medio de distribución utilizado son:

- **Reparto a pie:** Velocidad media de 3,75 km/h.
- **Reparto en moto:** Velocidad media de 20 km/h.

### Tiempos de acceso a los puntos de entrega.

Los tiempos de acceso<sup>15</sup> a los puntos de reparto según los tipos especificados anteriormente son:

- **Individual:** No se tendrá en cuenta ningún tiempo al estar situados al paso del repartidor, en este caso sólo se tendrá en cuenta el tiempo de reparto.
- **Colectivo:** Se tendrá en cuenta un tiempo medio de 3 minutos.
- **Masivo:** Se tendrá en cuenta un tiempo medio de 2 minutos.
- **Concentrado:** Se tendrá en cuenta un tiempo medio de 2 minutos.

### Tiempos de reparto.

Para los tiempos de reparto se agruparan los envíos según la forma de entrega, en casilleros domiciliarios o al destinatario en mano:

- **Casilleros domiciliarios:** Se tendrá en cuenta un tiempo de 3 segundos por cada envío depositado en el casillero.
- **Destinatario:** Se tendrá en cuenta un tiempo de 3 minutos por cada envío entregado al destinatario.

#### 4.7.2. Resumen de medidas.

A continuación se describirán las medidas o volúmenes de los medios de distribución utilizados por cada repartidor y de los envíos, que se tomarán en cuenta en este estudio:

#### Medios de reparto o distribución.

Según el medio de reparto utilizado por el repartidor<sup>16</sup>, se tendrá en cuenta las siguientes medidas:

---

<sup>15</sup>Dentro de estos tiempos se incluirán todos los tiempos desde que el repartidor llega al punto de entrega y se dirige hacia el siguiente punto de entrega.

<sup>16</sup>Estas medidas están sacadas de los procedimientos de compras de material que hace Correos, donde especifica las dimensiones, características, etc.

- **Carro:** Dispone de 3 compartimentos con las siguientes medidas:
  - Compartimento principal: 400x600x240 mm.
  - Compartimento delantero: 400x540x150 mm.
  - Compartimento trasero: 350x400x150 mm.
  
- **Moto:** Dispone de un cofre con medidas interiores de 490x490x350.

### Envíos.

A la hora de homogeneizar las medidas de los envíos, se van a distinguir tres casos:<sup>17</sup>

- **Envíos normalizados**<sup>18</sup>: 235x120x1,5 mm.
- **Envíos no normalizados**: 330x230x2 mm.
- **Paquetería**: 300x200x100 mm.

---

<sup>17</sup>Esta clasificación se debe a que las estadísticas de correos sobre número de envíos esta en función de si los envíos están normalizados o no normalizados.

<sup>18</sup>Ver en [www.Correos.es](http://www.Correos.es) las características que deben cumplir las cartas para que sean consideradas normalizadas.



# 5

## Modelo de Optimización Matemático

### Índice

---

<b>5.1. Introducción.</b>	<b>93</b>
<b>5.2. Modelo Básico.</b>	<b>93</b>
5.2.1. Parámetros y variables.	94
5.2.2. Función Objetivo.	97
5.2.3. Restricciones.	97
5.2.4. Análisis del modelo.	101
<b>5.3. Primer Modelo.</b>	<b>102</b>
5.3.1. Parámetros y Variables.	103
5.3.2. Función Objetivo.	107
5.3.3. Restricciones.	107
5.3.4. Análisis del modelo.	113
<b>5.4. Segundo Modelo.</b>	<b>114</b>
5.4.1. Parámetros y Variables.	115
5.4.2. Función Objetivo.	119
5.4.3. Restricciones.	119
5.4.4. Análisis del modelo.	126



## 5.1. Introducción.

La metodología que se va a utilizar será implementar de forma progresiva modelos cada vez más ajustados a las características del problema. Se irá describiendo, en cada modelo las características que lo definen.

En este estudio, no se tratará la optimización de la carga dentro del medio de distribución, ya que al ocupar las cartas muy poco espacio no es necesario dicho estudio de disposición volumétrica. Esta optimización de disposición ha sido estudiada para otro tipo de objetos en diversos estudios, entre los que cabe destacar: el estudio realizado por Merino (2003)<sup>Mer03</sup>, donde aplica el método greedy, teniendo en cuenta las dimensiones de cada envío o paquete; y el realizado por Zhang et al.(2015)<sup>ZWL15</sup>, donde tienen en cuenta el orden de entrega a la hora de optimizar la carga dentro de los medios de distribución.

A continuación se presentan los diferentes modelos.

## 5.2. Modelo Básico.

En este primer caso, se va a optimizar la distancia recorrida por cada repartidor durante el proceso de entrega, abordándolo desde la programación lineal.

Se parte del algoritmo más sencillo posible, en este caso el TSP<sup>1</sup>, el cuál se irá adaptando poco a poco a las especificaciones del problema.

El objeto de nuestro modelo es por tanto minimizar la distancia total al recorrer todos los puntos, teniendo en cuenta las restricciones de capacidad del medio de distribución utilizado por el repartidor y el tiempo de su jornada laboral.

---

<sup>1</sup>Ver Capítulo 3, apartado 3.2



### 5.2.1. Parámetros y variables.

#### Parámetros.

$N_P$	Número de puntos de entrega.
$Dis_{ij}$	Distancia del punto $i$ al $j$ .
$N_{Env_j}$	Número de envíos a entregar en el punto $j$ .
$U$	Cota superior de $N_{Ent_j}$ .
$C_{Veh}$	Carga del medio de distribución asignado al repartidor.
$T_{Jor}$	Tiempo máximo de trabajo del repartidor.
$V_{Med}$	Velocidad media del repartidor en función del medio de distribución utilizado.
$N_{CD}$	Número de envíos depositados en casilleros domiciliarios.
$N_D$	Número de envíos entregados al destinatario o persona autorizada.
$T_{EnvCD}$	Tiempo de entrega de envío en casillero domiciliario.
$T_{EnvD}$	Tiempo de entrega de envío en domicilio al destinatario o persona autorizada.
$T_{UAc}$	Tiempo de acceso al punto de entrega.
$B_{ON}$	Número de cartas y tarjetas postales ordinarias nacionales a entregar por el repartidor.
$B_{OI}$	Número de cartas y tarjetas postales ordinarias internacionales a entregar por el repartidor.
$B_{CN}$	Número de cartas certificadas nacionales a entregar por el repartidor.
$B_{CI}$	Número de cartas certificadas internacionales a entregar por el repartidor.
$B_{NA}$	Número de notificaciones administrativas a entregar por el repartidor.
$U_{ON}$	Número de cartas urgentes nacionales a entregar por el repartidor.
$U_{OI}$	Número de cartas urgentes internacionales a entregar por el repartidor.

$U_{CN}$	Número de cartas certificadas urgente nacionales a entregar por el repartidor.
$U_{CI}$	Número de cartas certificadas urgente internacionales a entregar por el repartidor.
$U_{CIU}$	Número de Correos urgente internacionales a entregar por el repartidor.
$E_{CE}$	Número de cecogramas a entregar por el repartidor.
$E_{PB}$	Número de publicuzones a entregar por el repartidor.
$E_{PC}$	Número de publicorreos a entregar por el repartidor.
$E_{PO}$	Número de publicorreos optimo a entregar por el repartidor.
$E_{PP}$	Número de publicorreos premium a entregar por el repartidor.
$E_{LL}$	Número de libros a entregar por el repartidor.
$E_{PE}$	Número de periódicos y publicaciones periódicas a entregar por el repartidor.
$P_{48}$	Número de paquetes 48 a entregar por el repartidor.
$P_{72}$	Número de paquetes 72 a entregar por el repartidor.
$P_{PA}$	Número de paquetes azul a entregar por el repartidor.
$P_{EI}$	Número de paquetes express internacionales a entregar por el repartidor.
$P_{IP}$	Número de paquetes postales internacionales prioritarios a entregar por el repartidor.
$P_{IE}$	Número de paquetes postales internacionales económicos a entregar por el repartidor.
$F_{GO}$	Número de giros ordinarios a entregar por el repartidor.
$F_{GU}$	Número de giros urgentes a entregar por el repartidor.
$T_{TE}$	Número de telegramas a entregar por el repartidor.
$T_{BU}$	Número de burofax a entregar por el repartidor.

**Variables de decisión.**

$X_{ij}$	Toma el valor 1 si el repartidor recorre el arco del punto $i$ al punto $j$ y 0 en el resto de los casos.
$u_i$ y $u_j$ t	Variables auxiliares que se utilizan para evitar subitinerarios desconectados.

$Y_j$	Número de envíos que el repartidor entrega en el punto $j$ .
$Z_{ij}$	Variable auxiliar que se utiliza para linealizar la demanda.
$X_{sj}$ y $X_{is}$	Variables auxiliares que se utilizan para evitar ramas muertas.

### Variables auxiliares.

$T_{Rec}$	Tiempo empleado, exclusivamente en el recorrido, por cada repartidor.
$T_{Env}$	Tiempo empleado, exclusivamente en las entregas de envíos, por el repartidor.
$T_{TAc}$	Tiempo empleado, exclusivamente en acceso a los punto de entrega, por el repartidor.
$N_{CD}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario.
$N_D$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas.
$N_{CDB}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea básica.
$N_{CDU}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea urgente.
$N_{CDB}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea económica.
$N_{DB}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea básica.
$N_{DU}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea urgente.
$N_{DP}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la paquetería.
$N_{DF}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea financiera.
$N_{DT}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea telegráfica.
$N_{PC}$	Número de puntos de entrega con casilleros domiciliarios colectivos.

### 5.2.2. Función Objetivo.

El objetivo es minimizar la distancia recorrida por cada repartidor en su área de reparto. Es decir, minimizar la siguiente función:

$$\min \sum_{i=0}^{N_P} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N_P} Dis_{ij} \cdot X_{ij} \quad (5.1)$$

Siendo el punto 0 la Unidad de Reparto, por lo tanto el punto de inicio y fin de la ruta, y los puntos  $1, \dots, N_P$  los puntos de entrega a visitar por el repartidor.

### 5.2.3. Restricciones.

Las condiciones que debe cumplir este modelo son:

#### Sólo una rama de salida.

De cada punto  $i$  solo puede salir un arco hacia un punto  $j$ .

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N_P} X_{ij} = 1, \forall i \in \{0, \dots, N_P\} \quad (5.2)$$

#### Sólo una rama de llegada.

A cada punto  $j$  solo puede llegar un arco procedente de un punto  $i$ .

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ij} = 1, \forall j \in \{0, \dots, N_P\} \quad (5.3)$$

#### Recorridos inconexos.

Para evitar circuitos independientes.

$$u_1 - u_2 + N_P \cdot X_{ij} \leq N_P - 1, \forall i, j \in \{1, \dots, N_P\}, i \neq j \quad (5.4)$$

**Demanda.**

Siendo  $Y_j$  la cantidad de envíos entregados en el punto  $j$  y  $N_{ent_j}$  la cantidad de envíos a entregar en el punto  $j$ . Se añade de obligatoriedad de entregar todos los envíos demandados en el punto  $j$ .

$$Y_j \cdot X_{ij} = N_{Env_j}, \forall i \in \{0, \dots, N_P\}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, i \neq j \quad (5.5)$$

Para que sea lineal:

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} Z_{ij} = N_{Env_j}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.6)$$

$$Z_{ij} \leq U \cdot X_{ij}, \forall i \in \{0, \dots, N_P\}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.7)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} Z_{ij} = Y_j, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.8)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} Z_{ij} \geq Y_j - U \cdot \left(1 - \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ij}\right), \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.9)$$

Además de satisfacer:

$$Y_j = N_{env_j}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.10)$$

Para evitar que  $X_{ij} = 0$  a pesar de que  $Y_j > 0$ :

$$\frac{Y_j}{U} \leq \sum_{i=0}^{N_P} X_{ij}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.11)$$

**No ir sin entregar.**

Para evitar ir a lugares sin entregar envíos.

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ij} \leq Y_j, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.12)$$

**Ramas muertas.**

Para evitar tramos de recorridos no consecutivos, es decir, llegar a un punto de entrega y no salir de él.

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq s}}^{N_P} X_{is} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq s}}^{N_P} X_{sj}, \forall s \in \{0, \dots, N_P\} \quad (5.13)$$

**Capacidad de los medios de distribución.**

La suma de los envíos a repartir  $Y_j$  no puede superar la capacidad del medio de distribución utilizado por el repartidor  $C_{Veh}$ .

$$\sum_{j=1}^{N_P} Y_j \leq C_{Veh} \quad (5.14)$$

**Tiempos.**

El tiempo que emplea cada repartidor  $k$  no puede superar al de su jornada laboral.

$$T_{Rec} + T_{Env} + T_{TAc} \leq T_{Jor} \quad (5.15)$$

Este tiempo el repartidor lo emplea en:

A) Recorrer desde la Unidad de Reparto todos los punto de entrega y regresar a ella,

$T_{Rec}$ :

$$T_{Rec} = \sum_{i=0}^{N_P} \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^{N_P} \frac{Dis_{ij} \cdot X_{ij}}{V_{Med}} \quad (5.16)$$

B) Entrega de los envíos,  $T_{Env}$ :

$$T_{Env} = N_{CD} \cdot T_{Env_{CD}} + N_D \cdot T_{Env_D} \quad (5.17)$$

Siendo:

a) Envíos Entregados en casillero domiciliarios.

$$N_{CD} = N_{CDB} + N_{CDU} + N_{CDE} \quad (5.18)$$

Donde:

- Envíos de la Línea Básica:

$$N_{CDB} = B_{ON} + B_{OI} \quad (5.19)$$

- Envíos de la Línea Urgente.

$$N_{CDU} = U_{ON} + U_{OI} + U_{CIU} \quad (5.20)$$

- Envíos de la Línea Económica.

$$N_{CDE} = E_{CE} + E_{PB} + E_{PC} + E_{PO} + E_{PP} + E_{LI} + E_{PE} \quad (5.21)$$

b) Envíos entregados al destinatario o persona autorizada.

$$N_D = N_{DB} + N_{DU} + N_{DP} + N_{DF} + N_{DT} \quad (5.22)$$

- Envíos de la Línea Básica.

$$N_{DB} = B_{CN} + B_{CI} + B_{NA} \quad (5.23)$$

- Envíos de la Línea Urgente.

$$N_{DU} = U_{CN} + U_{CI} \quad (5.24)$$

- Envíos de Paquetería.

$$N_{DP} = P_{48} + P_{72} + P_{PA} + P_{EI} + P_{IP} + P_{IE} \quad (5.25)$$

- Envíos de la Línea Financiera.

$$N_{DF} = F_{GO} + F_{GU} \quad (5.26)$$

- Envíos de la Línea Telegráfica.

$$N_{DT} = T_{TE} + T_{BU} \quad (5.27)$$

C) Tiempo de acceso a los puntos de entrega. Para el cálculo de este tiempo, sólo se tendrán en cuenta los puntos de entrega colectivos, ya que para el resto de casos se puede despreciar este valor.

$$T_{TAc} = N_{PC} \cdot T_{UAc} \quad (5.28)$$

#### 5.2.4. Análisis del modelo.

Con este modelo básico, nos puede suceder dos situaciones:

- Primera situación:** Se entregan todo los envíos en el tiempo estimado de la jornada laboral, siendo el tiempo empleado por el repartidor lo más ajustado posible a su jornada laboral. Esta es la situación óptima que buscamos.
- Segunda situación:** No nos entran todos los envíos en el medio de distribución, por lo que se entregan los envíos que entran en el medio, dejando el resto en la



Unidad de Reparto (Modelo 2) o en Sacas de alcance (Modelo 3), que son puestas en los buzones de alcance situados en la ruta de transporte.

### 5.3. Primer Modelo.

En este primer modelo, se va a tratar el caso de volver a la Unidad de Reparto a por los envíos, para seguir con la entrega diaria..

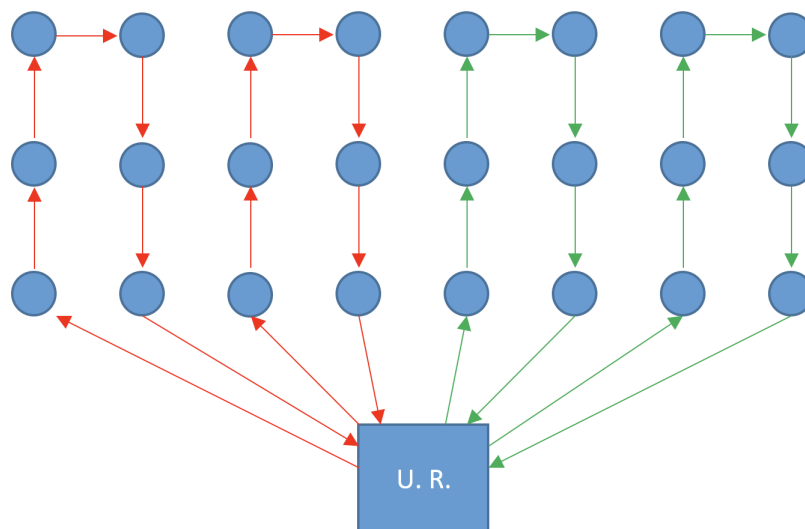


Figura 5.1: Esquema Primer Modelo.

Para ir acercándolo más a la solución óptima, no sólo se va a tener en cuenta un sólo repartidor y su zona, sino que se va a tratar toda la zona asignada a una Unidad de Reparto.

Con este modelo se pretende no sólo optimizar los recorridos de las rutas, sino también los recursos de las unidades de reparto.

### 5.3.1. Parámetros y Variables.

#### Parámetros

$N_P$	Número de puntos de entrega.
$N_R$	Número de repartidores.
$N_V$	Número máximo de viajes por repartidor.
$Dis_{ij}$	Distancia del punto $i$ al $j$ .
$U$	Cota superior de $NE_j$ .
$C_{Max_k}$	Carga máxima de cada medio de distribución asignado a cada repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$V_{Med_k}$	Velocidad media del reparto $k$ en función del medio de distribución utilizado.
$N_{CD_{jkv}}$	Número de envíos depositados en casilleros domiciliarios en el punto $j$ por el repartidor $k$ en el viaje $v$ .
$N_{D_{jkv}}$	Número de envíos entregados al destinatario o persona autorizada en el punto $j$ por el repartidor $k$ en el viaje $v$ .
$T_{Env_{CD}}$	Tiempo de entrega de envíos en casillero domiciliario.
$T_{Env_D}$	Tiempo de entrega de envío en domicilio al destinatario o persona autorizada.
$T_{UAc}$	Tiempo de acceso al punto de entrega.
$B_{ON_{jkv}}$	Número de cartas y tarjetas postales ordinarias nacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$B_{OI_{jkv}}$	Número de cartas y tarjetas postales ordinarias internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$B_{CN_{jkv}}$	Número de cartas certificadas nacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$B_{CI_{jkv}}$	Número de cartas certificadas internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .

$B_{NA_{jkv}}$	Número de notificaciones administrativas a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{ON_{jkv}}$	Número de cartas urgentes nacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{OI_{jkv}}$	Número de cartas urgentes internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{CN_{jkv}}$	Número de cartas certificadas urgente nacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{CI_{jkv}}$	Número de cartas certificadas urgente internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{CIU_{jkv}}$	Número de Correos urgente internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{CE_{jkv}}$	Número de cecogramas a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PB_{jkv}}$	Número de publicibuzones a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PC_{jkv}}$	Número de publiccorreos a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PO_{jkv}}$	Número de publiccorreos optimo a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PP_{jkv}}$	Número de publiccorreos premium a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{LI_{jkv}}$	Número de libros a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PE_{jkv}}$	Número de periódicos y publicaciones periódicas a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{48_{jkv}}$	Número de paquetes 48 a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{72_{jkv}}$	Número de paquetes 72 a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{PA_{jkv}}$	Número de paquetes azul a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .

$P_{EI_{jkv}}$	Número de paquetes express internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{IP_{jkv}}$	Número de paquetes postales internacionales prioritarios a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{IE_{jkv}}$	Número de paquetes postales internacionales económicos a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$F_{GO_{jkv}}$	Número de giros ordinarios a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$F_{GU_{jkv}}$	Número de giros urgentes a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$T_{TE_{jkv}}$	Número de telegramas a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$T_{BU_{jkv}}$	Número de burofax a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .

#### VARIABLES DE DECISIÓN.

$X_{ijkv}$	Toma el valor 1 si el repartidor $k$ en el viaje $v$ recorre el arco del punto $i$ al punto $j$ y 0 en el resto de los casos.
$u_i$ y $u_j$	Variables auxiliares que se utilizan para evitar subitinerarios desconectados.
$Y_{jkv}$	Número de envíos que el repartidor $k$ en el viaje $v$ entrega en el punto $j$ .
$Z_{ijkv}$	Variable auxiliar que se utiliza para linealizar la demanda.
$X_{sjkv}$ y $X_{iskv}$	Variables auxiliares que se utilizan para evitar ramas muertas.

#### VARIABLES AUXILIARES.

$T_{Rec_{kv}}$	Tiempo empleado, exclusivamente en el recorrido, por cada repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$T_{Ent_{kv}}$	Tiempo empleado, exclusivamente en las entregas de envíos, por el repartido $k$ en cada viaje $v$ .

$T_{TAc_{kv}}$	Tiempo empleado, exclusivamente en el acceso a los puntos de reparto, por el repartido $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{CD_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{D_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{CDB_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea básica del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{CDU_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea urgente del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{CDB_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea económica del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DB_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea básica del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DU_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea urgente del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DP_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la paquetería del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DF_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea financiera del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DT_{jkv}}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea telegráfica del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{PC_{jkv}}$	Número de puntos de entrega con casilleros domiciliarios colectivos del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .

### 5.3.2. Función Objetivo.

El objetivo es minimizar la siguiente función:

$$\min \sum_{i=0}^{N_P} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N_P} \sum_{k=1}^{N_R} \sum_{v=1}^{N_V} Dis_{ij} \cdot X_{ijkv} \quad (5.29)$$

### 5.3.3. Restricciones.

#### Una rama de salida.

Desde cualquier punto  $i$  solo se puede ir a otro  $j$ , con un determinado repartidor  $k$  y viaje  $v$ :

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N_P} X_{ijkv} \leq 1, \forall i \in \{0, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.30)$$

#### Una rama de llegada.

A cualquier punto  $j$  solo se puede llegar desde otro  $i$ , con un determinado repartidor  $k$  y viaje  $v$ :

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ijkv} \leq 1, \forall j \in \{0, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.31)$$

#### Recorridos inconexos.

Se ha eliminado el índice 0 ya que se puede ir desde la Unidad de Reparto a un punto y volver.

$$u_i - u_j + N_P \cdot X_{ijkv} \leq N_P - 1, \forall i, j \in \{1, \dots, N_P\}, i \neq j, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.32)$$

**Demanda.**

Siendo  $Y_{jkv}$  la cantidad de envíos entregados en el punto  $j$  por el repartidor  $k$  en el viaje  $v$  y  $N_{ent_j}$  la cantidad de envíos a entregar en el punto  $j$ . Se añade de obligatoriedad de entregar todos los envíos demandados en el punto  $j$ .

$$\sum_{k=1}^{N_R} \sum_{v=1}^{N_V} Y_{jkv} \cdot X_{ijkv} = N_{Env_j}, \forall i \in \{0, \dots, N_P\}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, i \neq j \quad (5.33)$$

Para que sea lineal:

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} \sum_{k=1}^{N_R} \sum_{v=1}^{N_V} Z_{ijkv} = N_{Env_j}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.34)$$

$$Z_{ijkv} \leq U \cdot X_{ijkv}, \forall i \in \{0, \dots, N_P\}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.35)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} Z_{ijkv} = Y_{jkv}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.36)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} Z_{ijkv} \geq Y_{jkv} - U \cdot \left(1 - \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ijkv}\right), \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.37)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{N_R} \sum_{v=1}^{N_V} Y_{jkv} = N_{Env_j}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.38)$$

Para evitar que  $X_{ijk}$  valga continuamente 0 a pesar de valer  $Y_{jkv} > 0$ :

$$\frac{Y_{jkv}}{U} \leq \sum_{i=0}^{N_P} X_{ijkv}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.39)$$

Siendo  $U$  la cota superior de  $N_{Ent_j}$ .

### No ir sin entregar.

Para evitar ir a lugares donde no se entregan envíos, es decir, que  $Y_{jkv} = 0$  con  $\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ijkv} = 1$ :

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ijkv} \leq Y_{jkv}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.40)$$

### Ramas muertas.

Para evitar tramos de recorridos que no sean consecutivos. es decir, llegar a un punto de reparto y no salir de él:

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq s}}^{N_P} X_{iskv} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq s}}^{N_P} X_{sjkv}, \forall s \in \{0, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.41)$$

### Capacidad de los vehículos.

Se introduce ahora la limitación de capacidad del medio de distribución asignado a cada repartidor  $k$ . Para ello la suma de las cantidades que se van a entregar  $Y_{jkv}$  por cada repartidor  $k$  en cada viaje  $v$ , no pueden superar la capacidad máxima  $CM_k$  del medio utilizado por el repartidor  $k$ :

$$\sum_{j=1}^{N_P} Y_{jkv} \leq C_{Max_{kv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.42)$$



**Tiempos.**

El tiempo que emplee cada repartidor  $k$  no puede superar su jornada de trabajo  $T_{Jor_k}$ .

$$\sum_{v=1}^{N_V} T_{Rec_{kv}} + \sum_{v=1}^{N_V} T_{Env_{kv}} + \sum_{v=1}^{N_V} T_{TA_{kv}} \leq T_{Jor_k} \quad (5.43)$$

El tiempo se emplea en:

A) Recorrer desde la Unidad de Reparto todos los punto de entrega y regresar a ella,  $T_{Rec}$ :

$$T_{Rec_{kv}} = \sum_{i=0}^{N_P} \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^{N_P} \frac{Dis_{ij} \cdot X_{ijkv}}{V_{Med_k}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.44)$$

B) Entrega de los envíos,  $T_{Env}$ :

$$T_{Env_{kv}} = \sum_{j=1}^{N_P} N_{CD_{jkv}} \cdot T_{Env_{CD}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{D_{jkv}} \cdot T_{Env_{D}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.45)$$

Siendo:

a) Envíos Entregados en casillero domiciliarios.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{CD_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} N_{CDB_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{CDU_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{CDE_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\},$$

$$\forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.46)$$

Donde:

- Envíos de la Línea Básica:

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{CDB_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} B_{ON_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} B_{OI_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.47)$$

- Envíos de la Línea Urgente.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{CDU_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} U_{ON_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} U_{OI_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} U_{CIU_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.48)$$

- Envíos de la Línea Económica.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{N_P} N_{CDE_{jkv}} &= \sum_{j=1}^{N_P} E_{CE_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{PB_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{PC_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{PO_{jkv}} + \\ &\sum_{j=1}^{N_P} E_{PP_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{LI_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{PE_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \end{aligned} \quad (5.49)$$

- b) Envíos entregados al destinatario o persona autorizada.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{D_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} N_{DB_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{DU_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{DP_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{DF_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{DT_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.50)$$

- Envíos de la Línea Básica.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DB_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} B_{CN_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} B_{CI_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} B_{NA_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\},$$

$$\forall v \in \{1, \dots, N_V\}$$
(5.51)

- Envíos de la Línea Urgente.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DU_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} U_{CN_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} U_{CI_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\}$$
(5.52)

- Envíos de Paquetería.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DP_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} P_{48_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} P_{72_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} P_{PA_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} P_{EI_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} P_{IP_{jkv}} +$$

$$\sum_{j=1}^{N_P} P_{IE_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\}$$
(5.53)

- Envíos de la Línea Financiera.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DF_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} F_{GO_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} F_{GU_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\}$$
(5.54)

- Envíos de la Línea Telegráfica.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DT_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} T_{TE_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} T_{BU_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.55)$$

C) Tiempo de acceso a los puntos de entrega. Para el cálculo de este tiempo, sólo se tendrán en cuenta los puntos de entrega colectivos, ya que para el resto de casos se puede despreciar este valor.

$$\sum_{j=1}^{N_P} T_{TAc_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} N_{PC_{jkv}} \cdot T_{UAc}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.56)$$

### Regreso a la Unidad de Reparto.

Para que los repartidores una vez acabada la jornada vuelvan a la Unidad de Reparto, se impone la siguiente restricción:

$$\sum_{i=1}^{N_P} X_{i0kv} = \sum_{j=1}^{N_P} X_{0jkv}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.57)$$

#### 5.3.4. Análisis del modelo.

Este modelo, al tener que ir a la Unidad de Reparto a cargar de nuevo el vehículo, supone un importante incremento de la distancia recorrida por los repartidores en el caso de ser necesario.

Es por ello que se realiza el siguiente modelo en el que se tienen en cuenta los denominados, según el argot de los carteros, buzones de alcance. Estos compartimentos se encuentran normalmente en sitios de paso a mediación de la ruta. En estos buzones, el cartero puede cargar la moto con los envíos que no entraron al principio.

## 5.4. Segundo Modelo.

En este modelo, se van a tener en cuenta los buzones de alcance existentes. Estos buzones suponen un gran ahorro para el reparto, ya que disminuyen las distancias recorridas en caso de ser necesario realizar un viaje extra.

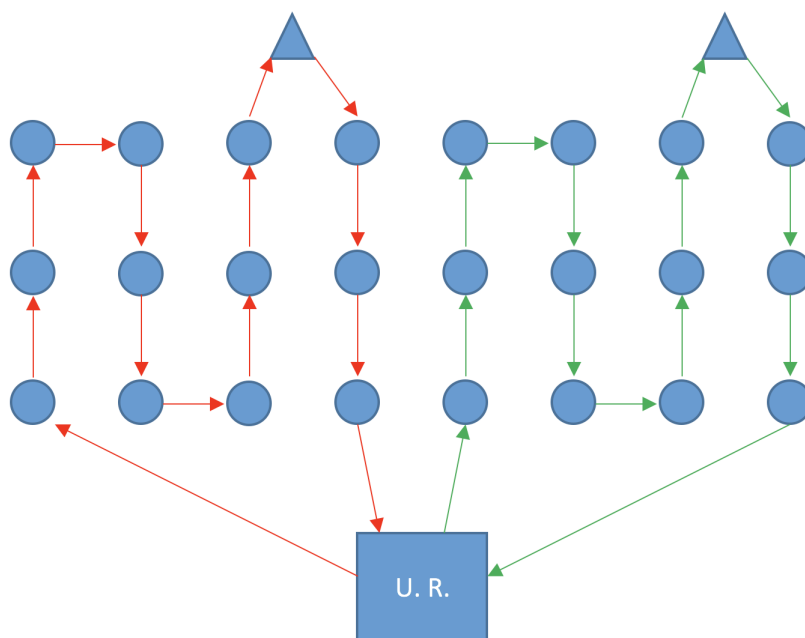


Figura 5.2: Esquema Segundo Modelo.

Como ya se ha comentado anteriormente, estos buzones se sitúan en un punto de paso intermedio a la ruta de los repartidores.

Partiendo del modelo anterior, se vuelve a optimizar las rutas de la Unidad de Reparto teniendo en cuenta los buzones de alcance:

### 5.4.1. Parámetros y Variables.

#### Parámetros

$N_P$	Número de puntos de entrega.
$N_R$	Número de repartidores.
$N_V$	Número máximo de viajes por repartidor.
$N_B$	Número máximo de buzones de alcance.
$\bar{N}_P$	Número total de puntos de entrega, incluyendo Unidad de Reparto y buzones de alcance. $\bar{N}_P = N_P + N_B$
$Dis_{ij}$	Distancia del punto $i$ al $j$ .
$U$	Cota superior de $NE_j$ .
$C_{Max_{kv}}$	Carga máxima de cada medio de distribución asignado a cada repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$V_{Med_k}$	Velocidad media del repartido $k$ en función del medio de distribución utilizado.
$N_{CD_{jkv}}$	Número de envíos depositados en casilleros domiciliarios en el punto $j$ por el repartidor $k$ en el viaje $v$ .
$N_{D_{jkv}}$	Número de envíos entregados al destinatario o persona autorizada en el punto $j$ por el repartidor $k$ en el viaje $v$ .
$T_{Env_{CD}}$	Tiempo de entrega de envíos en casillero domiciliario.
$T_{Env_D}$	Tiempo de entrega de envío en domicilio al destinatario o persona autorizada.
$T_{UAc}$	Tiempo de acceso al punto de entrega.
$B_{ON_{jkv}}$	Número de cartas y tarjetas postales ordinarias nacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$B_{OI_{jkv}}$	Número de cartas y tarjetas postales ordinarias internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$B_{CN_{jkv}}$	Número de cartas certificadas nacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .

$B_{CI_{jkv}}$	Número de cartas certificadas internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$B_{NA_{jkv}}$	Número de notificaciones administrativas a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{ON_{jkv}}$	Número de cartas urgentes nacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{OI_{jkv}}$	Número de cartas urgentes internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{CN_{jkv}}$	Número de cartas certificadas urgente nacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{CI_{jkv}}$	Número de cartas certificadas urgente internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$U_{CIU_{jkv}}$	Número de Correos urgente internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{CE_{jkv}}$	Número de cecogramas a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PB_{jkv}}$	Número de publicibuzones a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PC_{jkv}}$	Número de publiccorreos a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PO_{jkv}}$	Número de publiccorreos optimo a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PP_{jkv}}$	Número de publiccorreos premium a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{LI_{jkv}}$	Número de libros a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$E_{PE_{jkv}}$	Número de periódicos y publicaciones periódicas a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{48_{jkv}}$	Número de paquetes 48 a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{72_{jkv}}$	Número de paquetes 72 a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .

$P_{PA_{jkv}}$	Número de paquetes azul a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{EI_{jkv}}$	Número de paquetes express internacionales a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{IP_{jkv}}$	Número de paquetes postales internacionales prioritarios a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$P_{IE_{jkv}}$	Número de paquetes postales internacionales económicos a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$F_{GO_{jkv}}$	Número de giros ordinarios a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$F_{GU_{jkv}}$	Número de giros urgentes a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$T_{TE_{jkv}}$	Número de telegramas a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .
$T_{BU_{jkv}}$	Número de burofax a entregar por el repartidor $k$ en el punto de entrega $j$ en el viaje $v$ .

**VARIABLES DE DECISIÓN.**

$X_{ijkv}$	Toma el valor 1 si el repartidor $k$ en el viaje $v$ recorre el arco del punto $i$ al punto $j$ y 0 en el resto de los casos.
$u_i$ y $u_j$	Variables auxiliares que se utilizan para evitar subitinerarios desconectados.
$Y_{jkv}$	Número de envíos que el repartidor $k$ en el viaje $v$ entrega en el punto $j$ .
$X_{sjkv}$ y $X_{iskv}$	Variables auxiliares que se utilizan para evitar ramas muertas.

**VARIABLES AUXILIARES.**

$T_{Rec_{kv}}$	Tiempo empleado, exclusivamente en el recorrido, por cada repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$T_{Ent_{kv}}$	Tiempo empleado, exclusivamente en las entregas de envíos, por el repartido $k$ en cada viaje $v$ .



$T_{TAckv}$	Tiempo empleado, exclusivamente en el acceso a los puntos de reparto, por el repartido $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{CDjkv}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{Djkv}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{CDBjkv}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea básica del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{CDUjkv}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea urgente del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{CDBjkv}$	Número de envíos a entregar en casillero domiciliario de la línea económica del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DBjkv}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea básica del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DUjkv}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea urgente del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DPjkv}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la paquetería del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DFjkv}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea financiera del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{DTjkv}$	Número de envíos a entregar en el domicilio al destinatario o persona autorizadas de la línea telegráfica del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .
$N_{PCjkv}$	Número de puntos de entrega con casilleros domiciliarios colectivos del punto de entrega $j$ por el repartidor $k$ en cada viaje $v$ .

### 5.4.2. Función Objetivo.

El objetivo es minimizar la siguiente función:

$$\min \sum_{i=0}^{\bar{N}_P} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{\bar{N}_P} \sum_{k=1}^{N_R} \sum_{v=1}^{N_V} Dis_{ij} \cdot X_{ijkv} \quad (5.58)$$

### 5.4.3. Restricciones.

Una rama de salida.

Desde cualquier punto  $i$  solo se puede ir a otro  $j$ , con un determinado repartidor  $k$  y viaje  $v$ :

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_P} X_{ijkv} \leq 1, \forall i \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.59)$$

Para que el repartidor  $k$  en su primer viaje  $v = 1$  salga siempre de la Unidad de Reparto  $i = 0$  y se dirija a un solo punto de entrega  $j = 1$ :

$$\sum_{j=1}^{N_P} X_{0jk1} = 1, \forall k \in \{1, \dots, N_R\} \quad (5.60)$$

En el resto de viajes  $v \geq 2$ , desde un buzón de alcance  $s$  podemos ir a un solo punto de entrega  $j$ , si en repartidor  $k$  visita en ese viaje  $v$  el buzón de alcance  $b$ .

$$\sum_{j=1}^{N_P} \sum_{b=1}^{N_B} X_{bjkv} \leq 1, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{2, \dots, N_V\} \quad (5.61)$$

### Una rama de llegada.

A cualquier punto  $j$  solo se puede llegar desde otro  $i$ , con un determinado repartidor  $k$  y viaje  $v$ :

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ijkv} \leq 1, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.62)$$

A un buzón de alcance  $b$  solo se puede llegar desde un punto de reparto  $j$ , excepto en el viaje de regreso a la unidad de reparto  $j = 0$ .

$$\sum_{i=1}^{N_P} \sum_{b=1}^{N_B} X_{bjkv} \leq 1, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.63)$$

### Recorridos inconexos.

Se ha eliminado el índice 0 ya que se puede ir desde la Unidad de Reparto a un punto y volver.

$$u_i - u_j + \tilde{N}_P \cdot X_{ijkv} \leq \tilde{N}_P - 1, \forall i, j \in \{1, \dots, \tilde{N}_P\}, i \neq j, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.64)$$

### Demanda.

Siendo  $Y_{jkv}$  la cantidad de envíos entregados en el punto  $j$  por el repartidor  $k$  en el viaje  $v$  y  $N_{ent_j}$  la cantidad de envíos a entregar en el punto  $j$ . Se añade de obligatoriedad de entregar todos los envíos demandados en el punto  $j$ .

$$\sum_{k=1}^{N_R} \sum_{v=1}^{N_V} Y_{jkv} \cdot X_{ijkv} = N_{Env_j}, \forall i \in \{0, \dots, N_P\}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, i \neq j \quad (5.65)$$

Para que sea lineal:

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} \sum_{k=1}^{N_R} \sum_{v=1}^{N_V} Z_{ijkv} = N_{Env_j}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.66)$$

$$Z_{ijkv} \leq U \cdot X_{ijkv}, \forall i \in \{0, \dots, N_P\}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.67)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} Z_{ijkv} = Y_{jkv}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.68)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} Z_{ijkv} \geq Y_{jkv} - U \cdot \left(1 - \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ijkv}\right), \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.69)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^{N_R} \sum_{v=1}^{N_V} Y_{jkv} = N_{Env_j}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\} \quad (5.70)$$

Para evitar que  $X_{ijk}$  valga continuamente 0 a pesar de valer  $Y_{jkv} > 0$ :

$$\frac{Y_{jkv}}{U} \leq \sum_{i=0}^{N_P} X_{ijkv}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.71)$$

Siendo  $U$  la cota superior de  $N_{Ent_j}$ .

**No ir sin entregar.**

Para evitar ir a lugares donde no se entregan envíos, es decir, que  $Y_{jkv} = 0$  con  $\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ijkv} = 1$ :

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq j}}^{N_P} X_{ijkv} \leq Y_{jkv}, \forall j \in \{1, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.72)$$

**Ramas muertas.**

Para evitar tramos de recorridos que no sean consecutivos. es decir, llegar a un punto de reparto o buzón de alcance y no salir de él:

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq s}}^{\bar{N}_P} X_{iskv} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq s}}^{\bar{N}_P} X_{sjkv}, \forall s \in \{0, \dots, N_P\}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.73)$$

**Capacidad de los vehículos.**

Se introduce ahora la limitación de capacidad del medio de distribución asignado a cada repartidor  $k$ . Para ello la suma de las cantidades que se van a entregar  $Y_{jkv}$  por cada repartidor  $k$  en cada viaje  $v$ , no pueden superar la capacidad máxima  $CM_k$  del medio utilizado por el repartidor  $k$ :

$$\sum_{j=1}^{N_P} Y_{jkv} \leq C_{Max_k}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.74)$$

**Tiempos.**

El tiempo que emplee cada repartidor  $k$  no puede superar su jornada de trabajo  $T_{Jor_k}$ .

$$\sum_{v=1}^{N_V} T_{Rec_{kv}} + \sum_{v=1}^{N_V} T_{Env_{kv}} + \sum_{v=1}^{N_V} T_{TAc_{kv}} \leq T_{Jor_k} \quad (5.75)$$

El tiempo se emplea en:

A) Recorrer desde la Unidad de Reparto todos los punto de entrega y regresar a ella,  
 $T_{Rec}$ :

$$T_{Rec_{kv}} = \sum_{i=0}^{N_P} \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^{N_P} \frac{Dis_{ij} \cdot X_{ijkv}}{V_{Med_k}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.76)$$

B) Entrega de los envíos,  $T_{Env}$ :

$$T_{Env_{kv}} = \sum_{j=1}^{N_P} N_{CD_{jkv}} \cdot T_{Env_{CD}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{D_{jkv}} \cdot T_{Env_D}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.77)$$

Siendo:

a) Envíos Entregados en casillero domiciliarios.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{CD_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} N_{CDB_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{CDU_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{CDE_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \\ \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.78)$$

Donde:

■ Envíos de la Línea Básica:

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{CDB_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} B_{ON_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} B_{OI_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.79)$$

- Envíos de la Línea Urgente.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{CDU_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} U_{ON_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} U_{OI_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} U_{CIU_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\},$$

$$\forall v \in \{1, \dots, N_V\}$$
(5.80)

- Envíos de la Línea Económica.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{CDE_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} E_{CE_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{PB_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{PC_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{PO_{jkv}} +$$

$$\sum_{j=1}^{N_P} E_{PP_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{LI_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} E_{PE_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\}$$
(5.81)

- b) Envíos entregados al destinatario o persona autorizada.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{D_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} N_{DB_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{DU_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{DP_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{DF_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} N_{DT_{jkv}},$$

$$\forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\}$$
(5.82)

- Envíos de la Línea Básica.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DB_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} B_{CN_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} B_{CI_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} B_{NA_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\},$$

$$\forall v \in \{1, \dots, N_V\}$$
(5.83)

- Envíos de la Línea Urgente.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DU_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} U_{CN_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} U_{CI_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.84)$$

- Envíos de Paquetería.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{N_P} N_{DP_{jkv}} &= \sum_{j=1}^{N_P} P_{48_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} P_{72_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} P_{PA_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} P_{EI_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} P_{IP_{jkv}} + \\ &\sum_{j=1}^{N_P} P_{IE_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \end{aligned} \quad (5.85)$$

- Envíos de la Línea Financiera.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DF_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} F_{GO_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} F_{GU_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.86)$$

- Envíos de la Línea Telegráfica.

$$\sum_{j=1}^{N_P} N_{DT_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} T_{TE_{jkv}} + \sum_{j=1}^{N_P} T_{BU_{jkv}}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.87)$$

C) Tiempo de acceso a los puntos de entrega. Para el cálculo de este tiempo, sólo se tendrán en cuenta los puntos de entrega colectivos, ya que para el resto de casos se puede despreciar este valor.

$$\sum_{j=1}^{N_P} T_{TAc_{jkv}} = \sum_{j=1}^{N_P} N_{PC_{jkv}} \cdot T_{UAc}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.88)$$



### Regreso a la Unidad de Reparto.

Para que los repartidores una vez acabada la jornada vuelvan a la Unidad de Reparto, se impone la siguiente restricción:

$$\sum_{i=1}^{N_P} X_{i0kv} = \sum_{j=1}^{N_P} X_{0jkv}, \forall k \in \{1, \dots, N_R\}, \forall v \in \{1, \dots, N_V\} \quad (5.89)$$

#### 5.4.4. Análisis del modelo.

Con este modelo queda definido el proceso de entrega del servicio postal universal para cada Unidad de Reparto.

Se ha tenido en cuenta los tiempos de entrega de cada envío, los tiempos de recorrido según el medio de distribución utilizado, el tiempo de acceso a los puntos de reparto, las características de capacidad de los medios de distribución, así como la utilización de los buzones de alcance.

# 6

## Conclusiones y Líneas de Investigación Futuras

### Índice

---

6.1. Conclusiones. . . . .	129
6.2. Líneas de Investigación Futuras. . . . .	131

---



## 6.1. Conclusiones.

En la presente tesis se ha desarrollado una serie de modelos para la optimización de los redes de reparto de los envíos enmarcados dentro del Servicio Postal Universal. Para lograr dicho objetivo se ha hecho uso de herramientas matemáticas que han permitido crear un modelo para optimizar dicho proceso.

El Servicio Postal Universal es un servicio de gran importancia para la comunicación de las personas y se presta en régimen público. Este servicio esta asignado a un operador y controlado por la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. Esta comisión controla que el operador cumple los requisitos exigidos en la Ley en cuanto a la criterios de acceso a la red postal de los usuarios, la prestación del servicio, la calidad de servicio postal, los derechos de los usuarios y los precios.

El servicio postal se compone de diferentes etapas, cada una de las cuales afecta al coste final. En particular, el proceso de entrega de los diferentes envíos supone entre el 40 % y el 50 % del coste total, por lo que analizar esta fase sería de gran ayuda para reducir los costes globales. La gran cantidad de recursos, personas y medios de distribución que se utilizan en esta última fase son la consecuencia de elevado coste de la misma, de ahí que la optimización de las rutas seguidas por los repartidores pueda suponer un ahorro entre el 10 % y el 20 % de este proceso.

La entrega se compone de un amplio número de variables, las cuales se pueden dividir según el punto de entrega, el medio de distribución utilizado y las características del envío (forma de entrega, peso, medidas, prioridad, etc.). Todos estos parámetros, junto con la experiencia personal y las observaciones realizadas en el día a día, han resultado de gran importancia para la realización de este modelo.

Los Problemas de Rutas de Vehículos son una herramienta muy importante en el estudio de las redes de distribución. Como se ha podido ver existe una multitud de variables que van, desde la más básica que solo tiene en cuenta la capacidad del vehículo, hasta la franja de tiempo en que debe ser entregado. Estos problemas se adaptan fácilmente a los modelos en que se quieren implementar, pero presentan el inconveniente de ser difíciles de resolver. Encontrar una solución optima, en una red suficientemente amplia de puntos de entrega, conlleva mucho tiempo y se necesita de un gran aparato computacional, por

lo que las soluciones de este tipo de problemas se basan en resultado aproximados a través de diversos algoritmos.

El modelo planteado se adapta con fidelidad a las diferentes características de las Unidades de Reparto (número de repartidores, medios de distribución y envíos), así como a la zona de distribución asignada (Puntos de reparto, forma de entrega de los envíos y buzones de alcance). Con este modelo se pretende servir de base para la resolución de un problema de optimización de los recursos y redes de reparto existentes. Para ello es necesario aplicar este modelo junto con aplicaciones SIG y los datos existentes en las Unidades de Reparto, en cuanto a puntos de entrega, número de envíos a distribuir, entrega efectiva, etc.

Para finalizar, parte de las investigaciones desarrolladas durante el transcurso de la tesis doctoral han sido presentadas y publicadas en diferentes congresos y revista internacionales, Se exponen dichos trabajos:

- Vera, J.A., Merino, S., Galán, J.L. (2013). Statiitcal quality control in the construction industry. Proceedings of Applications of Computer Algebra ACA (2013) 313-317.
- Vera, J.A., Pabón, A.B., Liñan, R.J., Merino, S. (2014). System Optimization Courier and Parcel in Cities. Procedia - Social and Behavioral Sciences 160 (2014) 577-586.
- Vera, J.A., Pabón, A.B., Liñan, R.J., Merino, S.(2015). Optimización del servicio postal universal en ciudades. First International Conference on Smart Homes & Urban Renewal (2015) 17.
- Vera, J.A., Pabón, A.B., Liñan, R.J., Merino, S.(2016). Efficient postal service and respectful with the environment. XII Congreso de Ingeniería del Transporte (2016) 1965-1974

Y participando también en los siguientes trabajos:

- Liñan, R.J., Maeso, E., Merino, S., Vera, J.A. (2014) Estudio de intermodalidad en el transporte aplicada a la bicicleta en en entorno de la ciudad de Málaga. XI Congreso de Ingeniería del Transporte. Santander (2014)

- Pabón, A.B., Vera, J.A., Liñan, R.J., Merino, S.(2015) PATHER, Garantía de calidad de vida. First International Conference on Smart Homes & Urban Renewal (2015) 14.
- Liñan, R.J., Berenguer, F.J., Merino, S., Vera, J.A., Pabón, A.B., Cabrera, V., Martínez, J.(2015) Optimización matemática para la planificación y el diseño de carriles bici. First International Conference on Smart Homes & Urban Renewal (2015) 15.
- Liñan, R.J., Berenguer, F.J., Merino, S., Vera, J.A., Pabón, A.B., Cabrera, V.(2015) Aplicación metodológica de ubicación de Bancadas de Bici Pública. Servicio MUy-BICI de Murcia. First International Conference on Smart Homes & Urban Renewal (2015) 16.
- Pabón, A.B., Vera, J.A., Liñan, R.J., Merino, S.(2016) PATHER and GPS together to improve transport efficiency. XII Congreso de Ingeniería del Transporte. Valencia (2016) 2267-2275

ESTUDIO DE INTERMODALIDAD EN EL TRANSPORTE APLICADA A LA BICICLETA EN EL ENTORNO DE LA CIUDAD DE MÁLAGA. Roberto Jose? Lin?an Ruiz, Elvira Maeso Gonza?lez, Salvador Merino Co?rdoba y Jose? Antonio Vera Lo?pez.

## 6.2. Líneas de Investigación Futuras.

A partir de los trabajos realizados en la presente tesis, quedan abiertas diferentes líneas investigación que se detallan a continuación:

- Aumentar el campo de búsqueda relacionado con las variables que influyen en el proceso de entrega de envíos y las preferencias de los usuarios.
- Implementar el modelo creado en un caso real, con ayuda de SIG, con el objetivo de analizar las deficiencias que presenta y hacer mejoras del dicho modelo.
- Servir como metodología para el análisis de las diferentes rutas de entrega ya existentes, con el objetivo de mejorar su diseño y planificación y reducir sus costes de operación.

- Buscar algoritmos de resolución del modelo de optimización desarrollados para el cálculo de las rutas óptimas de entrega de los envíos postales.
- Crear un modelo común del proceso de entrega capaz de ser adaptado a todas las unidades de reparto, a partir de la versatilidad ofrecida por la programación del algoritmo del modelo propuesto.
- Calcular y analizar los costes de implantación de este modelo dentro de un operador postal.
- Relacionar nuevas variables del proceso de entrega para una mejor optimización de la red postal, tales como las ventanas de tiempo, las variables estocásticas y la planificación del proceso en varios días.
- Incluir el cálculo de la evaluación ambiental y energética en el modelo propuesto.
- Analizar el impacto de los nuevos medios de distribución sostenibles, por ejemplo los vehículos eléctricos, en el proceso de distribución.
-

# Bibliografía

- [AAB08] Federico Alonso, MJ Alvarez, and John E Beasley. A tabu search algorithm for the periodic vehicle routing problem with multiple vehicle trips and accessibility restrictions. *Journal of the Operational Research Society*, 59(7):963–976, 2008.
- [AK09] The Jin Ai and Voratas Kachitvichyanukul. A particle swarm optimization for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery. *Computers & Operations Research*, 36(5):1693–1702, 2009.
- [AMS01] C Archetti, R Mansini, and MG Speranza. The split delivery vehicle routing problem with small capacity. *Transportation Science*, 2001.
- [AS07] Claudia Archetti and Maria Grazia Speranza. An overview on the split delivery vehicle routing problem. In *Operations Research Proceedings 2006*, pages 123–127. Springer, 2007.
- [ASH06] Claudia Archetti, Maria Grazia Speranza, and Alain Hertz. A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem. *Transportation science*, 40(1):64–73, 2006.
- [ASS08] Claudia Archetti, M Grazia Speranza, and Martin WP Savelsbergh. An optimization-based heuristic for the split delivery vehicle routing problem. *Transportation Science*, 42(1):22–31, 2008.
- [BBC<sup>+</sup>04] Leonora Bianchi, Mauro Birattari, Marco Chiarandini, Max Manfrin, Monaldo Mastrolilli, Luis Paquete, Olivia Rossi-Doria, and Tommaso Schiavonotto. Metaheuristics for the vehicle routing problem with stochastic demands. In *International conference on parallel problem solving from nature*, pages 450–460. Springer, 2004.
- [BG01] Olli Bräysy and Michel Gendreau. Genetic algorithms for the vehicle routing problem with time windows. *Arpakannus*,(1), pages 33–38, 2001.
- [BG10] John E Bell and Stanley E Griffis. Swarm intelligence: Application of the ant colony optimization algorithm to logistics-oriented vehicle routing problems. *Journal of Business Logistics*, 31(2):157–175, 2010.



- [BHDJ98] Jonathan F Bard, Liu Huang, Moshe Dror, and Patrick Jaillet. A branch and cut algorithm for the vrp with satellite facilities. *IIE transactions*, 30(9):821–834, 1998.
- [Big99] Darryl R Biggar. Promoting competition in postal services. 1999.
- [BK92] Cock Bastian and Alexander HG Rinnooy Kan. The stochastic vehicle routing problem revisited. *European Journal of Operational Research*, 56(3):407–412, 1992.
- [BMM00] José-Manuel Belenguer, MC Martinez, and E Mota. A lower bound for the split delivery vehicle routing problem. *Operations Research*, 48(5):801–810, 2000.
- [BOZ02] Susana Baptista, Rui Carvalho Oliveira, and Eduardo Zúquete. A period vehicle routing case study. *European Journal of Operational Research*, 139(2):220–229, 2002.
- [BR07] Nicola Bianchessi and Giovanni Righini. Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery. *Computers & Operations Research*, 34(2):578–594, 2007.
- [Bra06] José Brandao. A new tabu search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 173(2):540–555, 2006.
- [BRÁR02] Lucía Barcos, V Rodríguez, M<sup>a</sup> Jesús Álvarez, and Francesc Robusté. Algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas para la resolución del problema del transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos. In *V Congreso de Ingeniería del Transporte. Santander*, pages 709–717, 2002.
- [BS03] Benjamín Barán and Matilde Schaerer. A multiobjective ant colony system for vehicle routing problem with time windows. In *Applied informatics*, pages 97–102, 2003.
- [BVH04] Russell Bent and Pascal Van Hentenryck. A two-stage hybrid local search for the vehicle routing problem with time windows. *Transportation Science*, 38(4):515–530, 2004.
- [CCL07] Benoit Crevier, Jean-François Cordeau, and Gilbert Laporte. The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes. *European Journal of Operational Research*, 176(2):756–773, 2007.
- [CDFT89] Giorgio Carpaneto, Mauro Dell’Amico, Matteo Fischetti, and Paolo Toth. A branch and bound algorithm for the multiple depot vehicle scheduling problem. *Networks*, 19(5):531–548, 1989.

- [CGdedreaddM00] Jean-Francois Cordeau and Québec) Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions (Montréal. *The VRP with time windows*. Montréal: Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions, 2000.
- [CGL97] Jean-François Cordeau, Michel Gendreau, and Gilbert Laporte. A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks*, 30(2):105–119, 1997.
- [CGW07] Si Chen, Bruce Golden, and Edward Wasil. The split delivery vehicle routing problem: Applications, algorithms, test problems, and computational results. *Networks*, 49(4):318–329, 2007.
- [CK01] Louis Caccetta and Araya Kulanoat. Algorithms for some hard knapsack problems. In *Optimization Methods and Applications*, pages 191–217. Springer, 2001.
- [CM11] AÍDA CALVIÑO MARTÍNEZ. Cooperación en los problemas del viajante (tsp) y de rutas de vehículos (vrp): Una panorámica. *Santiago de Compostela: USC Compostela*, 2011.
- [Con04] Nera Economic Consult. Economics of postal service: final report. *Study for the*, 2004.
- [CR78] Thomas M Cook and Robert A Russell. A simulation and statistical analysis of stochastic vehicle routing with timing constraints. *Decision sciences*, 9(4):673–687, 1978.
- [CW64] Geoff Clarke and John W Wright. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, 12(4):568–581, 1964.
- [D<sup>+</sup>02] Jan Dethloff et al. Relation between vehicle routing problems: an insertion heuristic for the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up applied to the vehicle routing problem with backhauls. *Journal of the Operational Research Society*, 53(1):115–118, 2002.
- [DAS<sup>+</sup>08] GH Dastghaibifard, E Ansari, SM Sheykhalishahi, A Bavandpouri, and E Ashoor. A parallel branch and bound algorithm for vehicle routing problem. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008*, 2008.
- [Det01] Jan Dethloff. Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up. *Or Spectrum*, 23(1):79–96, 2001.
- [dF09] Ministerio de Fomento. Memoria del sector postal español 2008, 2009.

- [dF11] Ministerio de Fomento. Memoria del sector postal español 2010, 2011.
- [DFJ54] George Dantzig, Ray Fulkerson, and Selmer Johnson. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Journal of the operations research society of America*, 2(4):393–410, 1954.
- [DGH<sup>+</sup>01] Karl Doerner, Walter J Gutjahr, Richard F Hartl, Christine Strauss, and Christian Stummer. Ant colony optimization in multiobjective portfolio selection. In *Proc. 4th Metaheuristics International Conference*, pages 243–248, 2001.
- [dlMylC13] Comisión Nacional de los Mercados y la Copetencia. El nuevo marco de regulación del sector postal tradicional en españa, 2013.
- [DLT94] Moshe Dror, Gilbert Laporte, and Pierre Trudeau. Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics*, 50(3):239–254, 1994.
- [DMN13] Julio Mario Daza, Jairo R Montoya, and Francesco Narducci. Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases (solving the capacitated vehicle routing problem using a twophase metaheuristic procedure). *Revista EIA*, 6(12):23–38, 2013.
- [DOV01] Lúcia MA Drummond, Luiz S Ochi, and Dalessandro S Vianna. An asynchronous parallel metaheuristic for the period vehicle routing problem. *Future generation computer systems*, 17(4):379–386, 2001.
- [DR59] George B Dantzig and John H Ramser. The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1):80–91, 1959.
- [DT86] Moshe Dror and Pierre Trudeau. Stochastic vehicle routing with modified savings algorithm. *European Journal of Operational Research*, 23(2):228–235, 1986.
- [DT89] Moshe Dror and Pierre Trudeau. Savings by split delivery routing. *Transportation Science*, 23(2):141–145, 1989.
- [EFÁMGE<sup>+</sup>16] Luis Miguel Escobar-Falcón, David Álvarez-Martínez, Mauricio Granada-Echeverri, John Willmer-Escobar, and Rubén Augusto Romero-Lázaro. Un algoritmo híbrido para el problema de ruteo de vehiculos con restricciones de carga de tridimensional. *Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia*, (78):9–21, 2016.
- [FS06] Peter Francis and Karen Smilowitz. Modeling techniques for periodic vehicle routing problems. *Transportation Research Part B: Methodological*, 40(10):872–884, 2006.

- [FST08] Peter M Francis, Karen R Smilowitz, and Michal Tzur. The period vehicle routing problem and its extensions. In *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*, pages 73–102. Springer, 2008.
- [GFPTV08] Jesus Gonzalez-Feliu, Guido Perboli, Roberto Tadei, and Daniele Vigo. The two-echelon capacitated vehicle routing problem. 2008.
- [GG06] Guillermo Gonzalez and Felipe Gonzalez. Metaheurísticas aplicadas al ruteo de vehículos. un caso de estudio. parte 1: Formulación del problema. *Ingeniería e Investigación*, 2006.
- [GHL94] Michel Gendreau, Alain Hertz, and Gilbert Laporte. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem. *Management science*, 40(10):1276–1290, 1994.
- [GJDLM10] Gabriel Gutiérrez-Jarpa, Guy Desaulniers, Gilbert Laporte, and Vladimir Marianov. A branch-and-price algorithm for the vehicle routing problem with deliveries, selective pickups and time windows. *European Journal of Operational Research*, 206(2):341–349, 2010.
- [GLS96] Michel Gendreau, Gilbert Laporte, and René Séguin. Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research*, 88(1):3–12, 1996.
- [GN07] K Ganesh and TT Narendran. Cloves: A cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up. *European Journal of Operational Research*, 178(3):699–717, 2007.
- [GT99] LME Gambardella and G Taillard. A multiple ant colony system for vehicle routing problems with time windows.[in:] corne d., dorigo mp: New ideas in optimization, 1999.
- [Hal92] Karsten Halse. *Modeling and solving complex vehicle routing problems*. PhD thesis, 1992.
- [Har96] Stephen M Hart. The modeling and solution of a class of dial-a-ride problems using simulated annealing. *Control and Cybernetics*, 25:131–158, 1996.
- [HDH09] Vera C Hemmelmayr, Karl F Doerner, and Richard F Hartl. A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems. *European Journal of Operational Research*, 195(3):791–802, 2009.
- [HHJL08] William Ho, George TS Ho, Ping Ji, and Henry CW Lau. A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(4):548–557, 2008.

- [Hjo95] Curt A Hjorring. The vehicle routing problem and local search metaheuristics. 1995.
- [Jan93] Klaus Jansen. Bounds for the general capacitated routing problem. *Networks*, 23(3):165–173, 1993.
- [JBG92] Charlotte Diane Jacobs-Blecha and Marc Goetschalckx. *The Vehicle Routing Problem with Backhauls: Properties and Solution Algorithms*. Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology, 1992.
- [JBQ02] G. Jaohuang, X. Binglei, and G. Qiang. Overview of stochastic vehicle routing problems. *Journal of Southwest Jiaotong University*, (2):113–121, 2002.
- [JLB07] Mingzhou Jin, Kai Liu, and Royce O Bowden. A two-stage algorithm with valid inequalities for the split delivery vehicle routing problem. *International Journal of Production Economics*, 105(1):228–242, 2007.
- [KBW<sup>+</sup>17] Henriette Koch, Andreas Bortfeldt, Gerhard Wäscher, et al. A hybrid solution approach for the 3l-vrp with simultaneous delivery and pickups. Technical report, Otto-von-Guericke University Magdeburg, Faculty of Economics and Management, 2017.
- [Kir83] Omer Kirca. Models and procedures for the pick-up and delivery problem. 1983.
- [KLMS05] Brian Kallehauge, Jesper Larsen, Oli BG Madsen, and Marius M Solomon. Vehicle routing problem with time windows. In *Column generation*, pages 67–98. Springer, 2005.
- [Kri] Chepuri Krishna. Homem-de-mello tito (2005).«. *Solving the vehicle routing problem with stochastic demands using the Cross-Entropy Method*«. *Annals of Operations Research*, 134:153–181.
- [LDN84] Gilbert Laporte, Martin Desrochers, and Yves Nobert. Two exact algorithms for the distance-constrained vehicle routing problem. *Networks*, 14(1):161–172, 1984.
- [LEWB06] Chi-Guhn Lee, Marina A Epelman, Chelsea C White, and Yavuz A Bozer. A shortest path approach to the multiple-vehicle routing problem with split pick-ups. *Transportation research part B: Methodological*, 40(4):265–284, 2006.
- [LLVH02] Gilbert Laporte, François V Louveaux, and Luc Van Hamme. An integer l-shaped algorithm for the capacitated vehicle routing problem with stochastic demands. *Operations Research*, 50(3):415–423, 2002.

- [LN83] Gilbert Laporte and Yves Nobert. A branch and bound algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *OR Spectrum*, 5(2):77–85, 1983.
- [LNT88] Gilbert Laporte, Yves Nobert, and Serge Taillefer. Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems. *Transportation science*, 22(3):161–172, 1988.
- [LYY99] Sushil J Louis, Xiangying Yin, and Zhen Ya Yuan. Multiple vehicle routing with time windows using genetic algorithms. In *Evolutionary Computation, 1999. CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on*, volume 3, pages 1804–1808. IEEE, 1999.
- [MAR96] Phillipa MARKS. The relative significance of scale economies and economies of scope, 1996.
- [Med05] A Medaglia. Combinatoria para logística. *Coloquio en Optimización Combinatoria Sesión Avanzada, Universidad de los Andes*, 2005.
- [Mer03] Salvador Merino. Optimización en el diseño de torres, 2003.
- [MG06] Fermín Alfredo Tang Montané and Roberto Diéguez Galvao. A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service. *Computers & Operations Research*, 33(3):595–619, 2006.
- [MGB99] Aristide Mingozzi, Simone Giorgi, and Roberto Baldacci. An exact method for the vehicle routing problem with backhauls. *Transportation Science*, 33(3):315–329, 1999.
- [Min89] Hokey Min. The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points. *Transportation Research Part A: General*, 23(5):377–386, 1989.
- [MO04] Ana Cristina Matos and Rui Carvalho Oliveira. An experimental study of the ant colony system for the period vehicle routing problem. In *International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*, pages 286–293. Springer, 2004.
- [MPT00] Silvano Martello, David Pisinger, and Paolo Toth. New trends in exact algorithms for the 0–1 knapsack problem. *European Journal of Operational Research*, 123(2):325–332, 2000.
- [MPZC05] Alejandra Méndez, Marisa Pontin, Maria Ziletti, and Luis Chávez. Heurísticas para la resolución de un problema de ruteo de vehículos periódico real. *Mecánica computacional*, 24, 2005.
- [MT90] Silvano Martello and Paolo Toth. *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. John Wiley & Sons, Inc., 1990.

- [NB00] William P Nanry and J Wesley Barnes. Solving the pickup and delivery problem with time windows using reactive tabu search. *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(2):107–121, 2000.
- [NS05] Gabor Nagy and Saïd Salhi. Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with pickups and deliveries. *European journal of operational research*, 162(1):126–141, 2005.
- [Oli04] Alfredo Olivera. Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos. *Reportes Técnicos 04-08*, 2004.
- [OW02] Ibrahim H Osman and Niaz A Wassan. A reactive tabu search meta-heuristic for the vehicle routing problem with back-hauls. *Journal of Scheduling*, 5(4):263–285, 2002.
- [Pan05a] Giselher Pankratz. Dynamic vehicle routing by means of a genetic algorithm. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(5):362–383, 2005.
- [Pan05b] Giselher Pankratz. A grouping genetic algorithm for the pickup and delivery problem with time windows. *Or Spectrum*, 27(1):21–41, 2005.
- [PH03] YB Park and SC Hong. A performance evaluation of vehicle routing heuristics in a stochastic environment. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING-THEORY APPLICATIONS AND PRACTICE*, 10(4):435–441, 2003.
- [PMB06] J Paciello, H Martínez, and B Barán. Team algorithms for ant colony based multiobjective problems, 2006.
- [Pri04] Christian Prins. A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 31(12):1985–2002, 2004.
- [PTMC02] Francisco B Pereira, Jorge Tavares, Penousal Machado, and Ernesto Costa. Gvr: a new genetic representation for the vehicle routing problem. In *Irish Conference on Artificial Intelligence and Cognitive Science*, pages 95–102. Springer, 2002.
- [Reg01] César Rego. Node-ejection chains for the vehicle routing problem: Sequential and parallel algorithms. *Parallel Computing*, 27(3):201–222, 2001.
- [RHG01] Ted Ralphs, Joe Hartman, and Matt Galati. Capacitated vehicle routing and some related problems. *Some CVRP Slides, Rutgers University*, 2001.
- [Rig00] Giovanni Righini. Approximation algorithms for the vehicle routing problem with pick-up and delivery. *Note del Polo-Ricerca*, 33, 2000.

- [RLB96] Jacques Renaud, Gilbert Laporte, and Fayez F Boctor. A tabu search heuristic for the multi-depot vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 23(3):229–235, 1996.
- [Rob49] Julia Robinson. On the hamiltonian game (a traveling salesman problem). Technical report, DTIC Document, 1949.
- [Sav85] Martin WP Savelsbergh. Local search in routing problems with time windows. *Annals of Operations research*, 4(1):285–305, 1985.
- [Sha98] Paul Shaw. Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. In *Proceedings of the 4th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, CP '98*, pages 417–431, London, UK, UK, 1998. Springer-Verlag.
- [Sol84] Marius Mihai Solomon. Vehicle routing and scheduling with time window constraints: Models and algorithms. Technical report, 1984.
- [Sol87] Marius M Solomon. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations research*, 35(2):254–265, 1987.
- [TBG<sup>+</sup>97] Éric Taillard, Philippe Badeau, Michel Gendreau, François Guertin, and Jean-Yves Potvin. A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows. *Transportation science*, 31(2):170–186, 1997.
- [TPMC03] Jorge Tavares, Francisco B Pereira, Penousal Machado, and Ernesto Costa. Crossover and diversity: A study about gvr. *Analysis and Design of Representations and Operators (ADoRo'2003)*, pages 27–33, 2003.
- [TT08] Paolo Toth and Andrea Tramontani. An integer linear programming local search for capacitated vehicle routing problems. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, pages 275–295. Springer, 2008.
- [TUV01] Libertad Tansini, María E Urquhart, and Omar Viera. Comparing assignment algorithms for the multi-depot vrp. *Reportes Técnicos 01-08*, 2001.
- [TV97] Paolo Toth and Daniele Vigo. An exact algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *Transportation science*, 31(4):372–385, 1997.
- [TV02] Paolo Toth and Daniele Vigo. Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics*, 123(1):487–512, 2002.
- [TV14] Paolo Toth and Daniele Vigo. *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. SIAM, 2014.



- [UWH10] Marc Uldry, Marino Widmer, and Alain Hertz. *Two objective functions for a real life Split Delivery Vehicle Routing Problem*. Department of Informatics-Université de Fribourg, 2010.
- [VdLM03] Nick Van der Lijn and Arno Meijer. Is mandatory access in the postal sector the key to success? In *Competitive Transformation of the Postal and Delivery Sector*, pages 87–103. Springer, 2003.
- [VPP<sup>+</sup>10] Juan G Villegas, Christian Prins, Caroline Prodhon, Andrés L Medaglia, and Nubia Velasco. Grasp/vnd and multi-start evolutionary local search for the single truck and trailer routing problem with satellite depots. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(5):780–794, 2010.
- [Vur03] Arif Volkan Vural. *A GA based meta-heuristic for capacitated vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries*. PhD thesis, 2003.
- [Vur07] Arif Volkan Vural. *The vehicle routing problem with simultaneous pick-up and deliveries and a GRASP-GA based solution heuristic*. Mississippi State University, 2007.
- [WK97] Oliver Wendt and Wolfgang König. Cooperative simulated annealing: How much cooperation is enough. In *Frankfurt University*, 1997.
- [WLB02] Tai-Hsi Wu, Chinyao Low, and Jiunn-Wei Bai. Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems. *Computers & Operations Research*, 29(10):1393–1415, 2002.
- [XL12] Jixian Xiao and Bing Lu. Vehicle routing problem with soft time windows. In *Advances in Computer Science and Information Engineering*, pages 317–322. Springer, 2012.
- [YMB00] Wen-Huei Yang, Kamlesh Mathur, and Ronald H Ballou. Stochastic vehicle routing problem with restocking. *Transportation Science*, 34(1):99–112, 2000.
- [ZDH10] Mohammad Hossein Fazel Zarandi, Soheil Davari, and Ahmad Hemmati. Fuzzy clustering for initialization of simulated annealing, algorithm to solve a capacitated vehicle routing problem. In *Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dhaka, Bangladesh*, 2010.
- [Zhu00] Kenny Qili Zhu. A new genetic algorithm for vrptw. In *Proceedings of the international conference on artificial intelligence*. Citeseer, 2000.
- [ZWL15] Zhenzhen Zhang, Lijun Wei, and Andrew Lim. An evolutionary local search for the capacitated vehicle routing problem minimizing fuel consumption under three-dimensional loading constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*, 82:20–35, 2015.

# Anexo I

## Glosario de términos.

- **Autorización administrativa.** Aquella que permite la prestación de servicios postales.
- **Correo transfronterizo.** Correo con origen o destino en otro Estado miembro de la Unión Europea o un país tercero.
- **Dirección postal.** La identificación de los remitentes o de los destinatarios por su nombre y apellidos, si son personas naturales, o por su denominación o razón social si se trata de personas jurídicas o entidades sin personalidad, así como la señas de un domicilio, que contendrá el nombre de la vía y el número de la finca, así como el número de piso y la letra, si los hubiera, o los datos que se establezcan para la entrega de los envíos en las oficinas de la red postal.
- **Envío de correspondencia.** La comunicación materializada en forma escrita sobre un soporte físico de cualquier naturaleza, que se transportará y entregará en la dirección indicada por el remitente sobre el propio envío o sobre su envoltorio.
- **Envío postal.** Todo objeto destinado a ser expedido a la dirección indicada por el remitente sobre el objeto mismo o sobre su envoltorio, una vez presentado en la forma definitiva en la cual debe ser recogido, transportado y entregado.
- **Medio de franqueo.** Aquellos efectos o signos que acreditan el pago de los servicios postales a los operadores postales que presten servicios incluidos en el servicios postal universal.
- **Operador designado.** El operador al que el Estado ha encomendado la prestación del servicio postal universal.
- **Operador postal.** La persona natural o jurídica que presta uno o varios servicios postales. El tercero que preste servicios postales en exclusiva para un único remitente que actúe en régimen de autoprestación queda excluido de esta definición.
- **Punto de acceso.** Las instalaciones físicas del operador postal designado para la prestación del servicio postal universal, donde los remitentes pueden depositar envíos postales, tales como los centro de admisión masiva, la oficinas, estafetas y buzones a disposición del público.

- **Red postal.** El conjunto de la organización y de los medios de todo orden que, empleados por el operador designado para la prestación del servicio postal universal, permiten, en particular la recogida, la admisión, la clasificación, el transporte, la distribución y la entrega de los envíos postales.
- **Remitente.** La persona física, jurídica o entidad sin personalidad de quien proceden los envíos postales.
- **Servicio de envío certificado.** Aquel que, previo pago de una cantidad determinada a tanto alzado, comporta una garantía fija contra los riesgos de pérdida, robo o deterioro, y que facilita al remitente, en su caso y a petición de éste, una prueba de depósito del envío postal o de su entrega al destinatario.
- **Servicio de envío con valor declarado.** Aquel que permite asegurar el envío por el valor declarado con el remitente, en caso de pérdida, robo o deterioro.
- **Servicio postal.** Cualesquiera servicios consistentes en la recogida, la admisión, la clasificación, el transporte, la distribución y la entrega de envíos postales.
- **Usuario.** La persona natural o jurídica o ente sin personalidad beneficiaria de la prestación de un servicio postal como remitente o como destinatario.



## **Anexo II**

### **Marco Normativo Postal en España.**

Se expone a continuación el marco normativo en vigor en España:

## II.a. Leyes.

- **Ley 43/2010**, de 30 de diciembre de 2010, del servicio postal universal, de los derechos de los usuarios y del mercado postal.

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2010/BOE-A-2010-20139-consolidado.pdf>

- **Ley 3/2013**, de 4 de junio, de creación de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-5940-consolidado.pdf>

## II.b. Reales Decretos.

- **Real Decreto 121/2015**, de 27 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 452/2012, de 5 de marzo, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Fomento y se modifica el Real Decreto 1887/2011, de 30 de diciembre, por el que se establece la estructura orgánica básica de los departamentos ministeriales.

<https://www.boe.es/boe/dias/2015/03/05/pdfs/BOE-A-2015-2336.pdf>

- **Real Decreto 452/2012**, de 5 de marzo, por el que se desarrolla la estructura orgánica básica del Ministerio de Fomento y se modifica el Real Decreto 1887/2011, de 30 de diciembre, por el que se establece la estructura orgánica básica de los departamentos ministeriales.

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2012/BOE-A-2012-3160-consolidado.pdf>

- **Real Decreto 1637/2011**, de 14 de noviembre, por el que se establece la composición, competencias y régimen de funcionamiento de la Comisión Filatélica del Estado y se regulan las emisiones de sellos de correo y otros signos de franqueo.

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-18539-consolidado.pdf>

- **Real Decreto 1188/2011**, de 19 de agosto, por el que se establecen las funciones, composición y funcionamiento del Consejo Superior Postal.  
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/B0E-A-2011-14557-consolidado.pdf>
- **Real Decreto 503/2007**, de 20 de abril, por el que se modifica el Real Decreto 1829/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regula la prestación de los servicios postales en desarrollo de lo establecido en la Ley 24/1998, de 13 de julio, del servicio postal universal y de liberalización de los servicios postales.  
<https://www.boe.es/boe/dias/2007/05/09/pdfs/A19902-19905.pdf>
- **Real Decreto 1298/2006**, de 10 de noviembre, por el que se regula el acceso a la red postal pública y se determina el procedimiento de resolución de conflictos entre operadores postales.  
<https://www.boe.es/boe/dias/2006/11/23/pdfs/A40999-41001.pdf>
- **Real Decreto 968/2002**, de 20 de septiembre, por el que se adaptan las normas que regulan la Orden Civil del Mérito Postal y la Medalla al Mérito Filatélico a la estructura organizativa del Ministerio de Fomento.  
<https://www.boe.es/boe/dias/2002/10/04/pdfs/A35140-35142.pdf>
- **Real Decreto 1829/1999**, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento por el que se regula la prestación de los servicios postales, en desarrollo de lo establecido en la Ley 24/1998, de 13 de julio, del Servicio Postal Universal y de Liberalización de los Servicios Postales.  
<https://www.boe.es/buscar/pdf/1999/B0E-A-1999-24919-consolidado.pdf>
- **Real Decreto 81/1999**, de 22 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo del Título II de la Ley 24/1998, de 13 de julio, del Servicio Postal Universal y de Liberalización de los Servicios Postales, en lo relativo a las autorizaciones para la prestación de servicios y al Registro General de Empresas Prestadoras de Servicios Postales.  
<https://www.boe.es/buscar/pdf/1999/B0E-A-1999-2637-consolidado.pdf>



## II.c. Órdenes.

- **Orden FOM/846/2015**, de 7 de mayo, por la que se establecen los modelos y se regula la liquidación de las tasas por inscripción en el Registro General de empresas prestadoras de servicios postales y por la expedición de certificaciones registrales.  
<http://www.boe.es/boe/dias/2015/05/11/pdfs/BOE-A-2015-5184.pdf>
- **Orden FOM/845/2015**, de 7 de mayo, por la que se aprueba el modelo de declaración responsable que habilita para la prestación de servicios postales no incluidos en el ámbito del servicio postal universal.  
<https://www.boe.es/boe/dias/2015/05/11/pdfs/BOE-A-2015-5183.pdf>
- **Orden PRE/578/2015**, de 27 de marzo, por la que se determina la fecha de inicio del ejercicio efectivo de las funciones transferidas al Ministerio de Fomento por la Ley 3/2013, de 4 de junio, de creación de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.  
<https://www.boe.es/boe/dias/2015/04/06/pdfs/BOE-A-2015-3653.pdf>
- **Orden FOM/2862/2004**, de 30 de julio, por la que se aprueba el Reglamento de la Orden Civil del Mérito Postal y la Medalla al Mérito Filatélico.  
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2004/BOE-A-2004-15456-consolidado.pdf>
- **Orden FOM/2447/2004**, de 12 de julio, sobre la contabilidad analítica y la separación de cuentas de los operadores postales.  
<http://www.boe.es/boe/dias/2004/07/23/pdfs/A26887-26894.pdf>

## II.d. Resoluciones.

- **Resolución de 29 de noviembre de 2011**, del Consejo de la Comisión Nacional del Sector Postal, por la que se establece el calendario de renovación anual a partir del año 2012, de las empresas inscritas en el Registro General de Empresas Prestadoras de Servicios Postales.  
<https://www.boe.es/boe/dias/2011/12/09/pdfs/BOE-A-2011-19325.pdf>

- **Resolución de 27 de julio de 2011**, de la Presidencia de la Comisión Nacional del Sector Postal, por la que se publica la Circular 1/2011, por la que se dictan Instrucciones en las que se determina, con carácter transitorio, el régimen jurídico aplicable al acceso a la red postal de los operadores postales.

<https://www.boe.es/boe/dias/2011/09/10/pdfs/BOE-A-2011-14558.pdf>

- **Resolución de 23 de abril de 2007**, de la Subsecretaría de Fomento, por la que se aprueban las condiciones de referencia de carácter provisional para el acceso a la red postal pública.

<https://www.boe.es/boe/dias/2007/05/04/pdfs/A19042-19047.pdf>