

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

---

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

## **APROVECHAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA URBANA YA EXISTENTE PARA LA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILLA.**

## **CASO DE ESTUDIO: CIUDAD DE MADRID**

**Eloy Ramírez Ruiz**

Madrid, 2026



**Universidad  
Europea**



**Universidad  
Europea**

## **TRABAJO DE FIN DE MÁSTER**

# **APROVECHAMIENTO DE INFRAESTRUCTURA URBANA YA EXISTENTE PARA LA LOGÍSTICA DE ÚLTIMA MILLA (CASO DE ESTUDIO CIUDAD DE MADRID)**

Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño  
Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Eloy Ramírez Ruiz

Dirigido por:

José Luis López Oliete

Madrid, 2026

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Objetivos</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	4
<b>3. Antecedentes</b>	<b>6</b>
3.1 Transformación urbana y concentración de la población en grandes ciudades	6
3.2 Cambios en los patrones de consumo y auge del comercio electrónico	7
3.3 Evolución del sistema logístico: descentralización de las infraestructuras logísticas	8
3.4 Incremento del tráfico de mercancías y congestión urbana	9
3.5 Restricciones al tráfico y conflicto por el uso del espacio urbano	10
3.6 Necesidad de nuevos enfoques para la logística de última milla	11
<b>4. Estado del arte</b>	<b>12</b>
4.1 Causas de la presión y el deterioro en las operaciones de última milla	13
4.1.1 Tendencias B2B y B2C	13
4.1.2 Consecuencias operativas que explican el deterioro de la última milla. La logística inversa	14
4.1.3 Los impactos que genera la intensificación de la última milla en las ciudades. Concentración de emisiones	15
4.1.4 Políticas urbanas que condicionan el reparto de mercancías en Última Milla	16
4.2 Soluciones para mejorar las actividades logísticas de última milla	18
4.2.1 Reutilización de nodos logísticos urbanos ya existentes que intervengan en la distribución de última milla	18
4.2.2 Ciudades que ya han impulsado la Reutilización de Espacios para Última Milla y los condicionantes para hacerlo	22
4.2.3 Agentes y Gobernanza en la Logística de Última Milla	24
4.2.5 Barrera y variables con las que se puede juzgar la validez de una infraestructura para albergar un uso logístico	26
4.3 Criterios para evaluar y decidir cómo se elige el dónde y qué reutilizar	28
4.3.1 Establecimiento de Métodos de Análisis Multicriterio (MCDA) aplicables para valorar infraestructuras	28
4.3.2 Métodos para ponderar criterios	30
<b>5. Identificación de la necesidad</b>	<b>32</b>
<b>6. Metodología</b>	<b>33</b>
6.1 Estructura de la metodología	34
FASE 1-Establecimiento de unos requisitos básicos	35
FASE 2- Selección de las infraestructuras para la metodología	37
FASE 3- Variables: definición del sistema de variables con las que evaluar las infraestructuras	38
FASE 4- Creación de una nomenclatura para identificar las variables	40

FASE 5- Descripción de las variables propias de cada infraestructura a evaluar.....	41
FASE 6- Formulación de la función de idoneidad y estructura del modelo de evaluación .	45
FASE 7- Ponderación de variables: estimación de pesos.....	49
Variables de Clase: Ponderación mediante AHP .....	49
Variables Locales: Ponderación mediante SWING .....	53
<b>7. Caso de estudio: Aplicación a la ciudad de Madrid, Distrito de Chamartín .....</b>	<b>55</b>
FASE 1- Índice tipológico $T_t$ .....	59
FASE 2- Índice local $L_i$ .....	61
Listado de Infraestructuras Reales de estudio .....	62
Cálculo del salto SWING y vector normalizado $W_t$ .....	65
T1.1 Aparcamiento público María de Molina.....	67
T1.2 Aparcamiento público Nuevos Ministerios .....	71
T1.3 Aparcamiento Santo Domingo de Silos .....	74
T2.1 Aparcamiento EMT Nuestra Señora del Recuerdo .....	77
T3.1 – Estación de Metro de Santiago Bernabéu .....	80
T3.2 Estación de Metro de Nuevos Ministerios .....	83
T4.1 – Estación de Renfe de Chamartín.....	88
T5.1 Intercambiador de Plaza Castilla .....	92
T6.1 Mercado Municipal de Chamartín.....	95
T6.2 Mercado Municipal de San Cristóbal.....	98
T7.1 Centro deportivo Municipal Pradillo .....	100
FASE 3 – ÍNDICE DE IDONEIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA $S_i$ .....	103
<b>8. Resultados .....</b>	<b>104</b>
<b>9. Conclusión y nuevas líneas de investigación .....</b>	<b>108</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEJO 1- Anejo de Cálculos .....</b>	<b>116</b>
Cálculo de los resultados del Índice Tipológico.....	116

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2013).....	7
Ilustración 2 - Evolución población Ciudad de Madrid SXXI. Elaboración propia a partir de datos de EPData (2025).....	8
Ilustración 3-Accidente de vehículo de mercancías. Fuente: El Correo, 2021 .....	10
Ilustración 4- Carteles de Madrid 360. Fuente Ayuntamiento de Madrid .....	17
Ilustración 5-Imagen barco de reparto de mercancías Fuente: Reddit .....	19
Ilustración 6 Distribución de paquetes en la red de Metro de Madrid. Fuente ABC, 2024 .....	20
Ilustración 7-Locker urbano (SETROCM, 2025) .....	21
Ilustración 8 - Celdas de cuadrícula contiguas (Eurostat, 2023).....	36
Ilustración 9 - Ubicación del distrito de Chamartín en rojo. ....	55
Ilustración 10 - Mapa Conjunto de Infraestructuras .....	61
Ilustración 11 - Ubicación de las infraestructuras a estudiar .....	63
Ilustración 12 Aparcamiento público María de Molina.....	67
Ilustración 13 - Entrada a aparcamiento María de Molina.....	68
Ilustración 14 - Acceso a aparcamiento María de Molina.....	69
Ilustración 15 - Interior Aparcamiento María de Molina .....	70
Ilustración 16 - Ubicación aparcamiento público Nuevos Ministerios.....	71
Ilustración 17 - Acceso aparcamiento Público Nuevos Ministerios.....	72
Ilustración 18 - Curva de acceso a aparcamiento Nuevos Ministerios.....	73
Ilustración 19 - Espacios amplios del aparcamiento Nuevos Ministerios .....	73
Ilustración 20 - Localización Aparcamiento Santo Domingo de Silos.....	74
Ilustración 21 - Acceso aparcamiento Santo Domingo de Silos .....	75
Ilustración 22 - Espacio en el aparcamiento de Santo Domingo de Silos.....	76
Ilustración 23 - Localización del aparcamiento privado de la EMT Nuestra Señora del Recuerdo .....	77
Ilustración 24 - Acceso al aparcamiento privado de la EMT Nuestra Señora del Recuerdo.....	78
Ilustración 25 - Localización de la Estación de Metro Santiago Bernabéu .....	80
Ilustración 26 - Acceso a la Estación de Metro Santiago Bernabéu .....	81
Ilustración 27 - Vestíbulo estación de Metro Santiago Bernabéu .....	82
Ilustración 28 - Localización de la Estación de Metro de Nuevos Ministerios .....	83
Ilustración 29 - Acceso a la Estación de Metro de Nuevos Ministerios.....	84
Ilustración 30 - Espacios con uso alternativo dentro del Metro de Nuevos Ministerios.....	85
Ilustración 31 - Local disponible en la estación de Metro de Nuevos Ministerios.....	85
Ilustración 32 - Uso alternativo en la estación de Metro de Nuevos Ministerios .....	86

Ilustración 33 - Ubicación estratégica de la estación de Metro de Nuevos Ministerios .....	87
Ilustración 34 - Ubicación de la Estación de Renfe de Chamartín .....	88
Ilustración 35 - Acceso a la Estación de Chamartín.....	89
Ilustración 36 - Uso alternativo en la Estación de Chamartín .....	90
Ilustración 37 - Acceso Rodado a la Estación de Chamartín.....	90
Ilustración 38 - Ubicación del Intercambiador de Plaza Castilla.....	92
Ilustración 39 - Acceso al Intercambiador de Plaza Castilla .....	93
Ilustración 40 - Espacios disponibles en el Intercambiador de Plaza Castilla.....	93
Ilustración 41 - Ubicación del Mercado Municipal de Chamartín .....	95
Ilustración 42 - Acceso al Mercado Municipal de Chamartín.....	96
Ilustración 43 - Acceso Rodado al Mercado Municipal de Chamartín .....	97
Ilustración 44 - Localización del Mercado Municipal de San Cristóbal .....	98
Ilustración 45 - Mercado Municipal de San Cristobal sin acceso rodado.....	99
Ilustración 46 - Ubicación Centro Deportivo Municipal Pradillo .....	100
Ilustración 47 - Espacio amplio en el acceso a Centro Deportivo Municipal Pradillo .....	101
Ilustración 48 - Acceso rodado al Centro Deportivo Municipal Pradillo .....	102
Ilustración 49 - Resultados en ArcMap.....	106

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Concentración NO2 ciudades españolas. ....	16
Tabla 2 - - Restricciones horarias tráfico vehículos >7,5 tn. ....	17
Tabla 3 - Hubs de Movilidad en Madrid.. ....	18
Tabla 4 - Envíos B2C según densidad ciudades.. ....	22
Tabla 5 - Coste aproximado en € m2 en grandes capitales. ....	23
Tabla 6 - Tipologías de estudio .....	37
Tabla 7 - Variables de Clase que definen la Tipología.....	41
Tabla 8 -Variables Locales que definen la Infraestructura real.....	44
Tabla 9 - Comparación de Variables de Clase VC.....	50
Tabla 10 - Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980) .....	50
Tabla 11 - Valor de las Variables de Clase.....	52
Tabla 12 - Infraestructuras reales a estudiar .....	56
Tabla 13 - Tipologías de estudio .....	57
Tabla 14 - Variables de clase VC .....	57
Tabla 15 - Índice tipológico Tt definitivo .....	60
Tabla 16 - Infraestructuras reales de estudio .....	62
Tabla 17 - Vector peso obtenido para cada Tipología .....	66
Tabla 18 - índice de Idoneidad Si de las infraestructuras estudiadas.....	103
Tabla 19 - Resultados de Idoneidad de las Infraestructuras de estudio.....	104
Tabla 20 - Tabla de Resultados en ArcMap.....	107

## Resumen

En este Trabajo Fin de Máster titulado “Aprovechamiento de infraestructura urbana ya existente para la logística urbana de Última Milla” se busca dar un uso auxiliar a infraestructuras que ya desarrollan una actividad principal para que sirvan de soporte a operadores logísticos y puedan albergar una actividad logística en entornos urbanos, sin que eso altere la actividad principal para la que fueron creadas.

Se propone aportar una solución técnica a la problemática urbana actual donde factores como la densidad de población, las limitaciones espaciales o la subida del precio del suelo alejan del núcleo de la ciudad los centros de operación desde donde parten las mercancías en el último tramo que recorren hasta llegar al destino. Este último tramo es donde se generan la mayoría de los conflictos urbanos, logísticos y ambientales y responde al término “Última Milla”.

A partir de la metodología se busca crear una herramienta de apoyo a Administraciones u Operadores Logísticos con la que valorar, mediante variables cualitativas propias a una infraestructura determinada, la idoneidad que estas tengan para albergar un uso logístico. Es una herramienta replicable que pretende poder ser usada para cualquier caso práctico a partir de unos pasos claros y efectivos. Se aplicará a un ejemplo real y se obtendrán unas conclusiones.

El enfoque de este trabajo busca estar en sintonía con las estrategias actuales de sostenibilidad urbana y eficiencia en el uso de recursos, al priorizar la reutilización de infraestructuras frente a la creación de nuevos espacios. Pretende aportar al desarrollo de ciudades sostenibles, más eficientes y en línea con los objetivos de descarbonización y mejora ambiental.

## **Abstract**

This Master's Thesis, entitled "Utilising Existing Urban Infrastructure for Last-Mile Urban Logistics", seeks to find secondary uses for infrastructure that already serves a primary purpose, so that it can support logistics operators and accommodate logistics activities in urban environments, without disrupting the primary function for which it was originally designed.

It proposes a technical solution to current urban challenges where factors such as population density, spatial constraints or rising land prices are driving operational centres—from which goods set off on the final leg of their journey to their destination—away from the city centre. This final leg is where most urban, logistical and environmental conflicts arise and is referred to as the "last mile".

Based on this methodology, the aim is to create a tool to support local authorities or logistics operators, enabling them to assess, using qualitative variables specific to a given infrastructure, the suitability of that infrastructure for logistics use. It is a replicable tool designed to be applied to any practical case through clear and effective steps. It will be applied to a real-world example, and conclusions will be drawn.

The focus of this work seeks to align with current strategies for urban sustainability and resource efficiency, by prioritising the reuse of infrastructure over the creation of new spaces. It aims to contribute to the development of sustainable, more efficient cities in line with decarbonisation and environmental improvement objectives.



## 1. Introducción

Tiendas de alimentación, farmacias, hospitales, hoteles. Particulares y empresas. La distribución de productos forma parte del día a día de la mayor parte de los actores que componen el espacio urbano. La ciudad es un constante flujo de movimiento de mercancías y requiere de una logística urbana eficiente que sea capaz de organizar un reparto coordinado, que afecte en la menor medida posible al desarrollo de la actividad urbana.

Esta movilidad de mercancías es un pilar fundamental en la actividad económica de las ciudades. El sector del transporte y la logística en España representa un 4,58 % del PIB Nacional (ICEX Invest in Spain, s. f.). El correcto funcionamiento logístico beneficia a todos los componentes de la cadena de suministro, desde la empresa de reparto al destinatario, autoridades locales y nacionales y beneficiando al entorno urbano si el reparto es eficiente. En cambio, si no se controla bien, puede suponer pérdidas a todos sus actores: diversos estudios recientes coinciden en que el tramo final de la cadena logística urbana es la fase más costosa, compleja y menos eficiente, concentrando el 30% del coste total del transporte urbano (Cushman & Wakefield & P3 Logistic Parks, 2017). Es decir, 1 de cada 3 euros se pierden al entrar en el entorno urbano.

Este último tramo es el denominado Última Milla y corresponde a ese paso final. en la distribución de las mercancías en el que estas salen del último centro logístico o punto de consolidación hasta llegar al destino final o punto de entrega donde el destinatario las reciba (Universidad Europea, 2023)

Este último tramo requiere de una logística precisa y eficiente, sobre todo en entornos urbanos cada vez más poblados, donde coincide a diario con millones de desplazamientos de personas y servicios. Estas ciudades en las que se distribuye la mercancía se caracterizan por un espacio público que cada vez es más limitado, con restricciones normativas a la circulación y condiciones horarias que impone la administración. Esta presión se ve intensificada por la transformación de los patrones de consumo: cada vez hay más compras online con entregas a domicilio que exigen una entrega casi inmediata, con productos de pequeño volumen y de bajo precio, incrementando el flujo de mercancías y complicando la logística en la Última Milla (Flórez Oviedo & López Hincapié, 2023). Uno de los grandes desafíos de la movilidad urbana es poder gestionar todos estos flujos de mercancía que llegan a las ciudades

Es actualidad la cantidad de debates, noticias y polémicas que origina la logística urbana (Expansión, 2025): políticas orientadas a reducir las emisiones en las ciudades, la

descarbonización en los entornos urbanos o la limitación a la movilidad en las grandes capitales. La necesidad de adaptarse al cambio es creciente, pero en muchos casos sigue siendo una tarea pendiente, faltando planes e instrumentos (Información Logística, 2023).

Por esto se abre una puerta a la investigación y a la mejora. Implantar herramientas que ayuden a liberar este tramo de última milla y desahoguen la logística urbana son necesarias. Este TFM abre una puerta a la investigación y desarrollará una idea clara: **¿es posible aprovechar infraestructuras existentes para aliviar parte de la presión logística sobre el espacio público? ¿Podrían espacios urbanos funcionar como nodos logísticos y hacer así la ciudad más eficiente?**

## 2. Objetivos

El reto que plantea la logística urbana de última milla en las ciudades principales y más densamente pobladas es lograr que estos grandes flujos de mercancías que se manejan diariamente convivan en espacios donde las restricciones de espacio son cada vez más limitadas y sortear las limitaciones ambientales propias de estos entornos urbanos consolidados. Esto pone de manifiesto que es necesario explorar y trabajar en nuevas soluciones para mejorar el reparto eficiente y satisfacer la demanda en aumento de productos adaptándose al medio, esto es, sin crear nuevas infraestructuras logísticas, buscando un espacio que cada vez es más limitado. En este contexto, el aprovechamiento de infraestructuras urbanas existentes e infrautilizadas o con potencial para albergar una segunda funcionalidad, aparece como alternativa con gran potencial para solucionar este reto, siempre que su aplicación se realice bajo unos criterios bien definidos y que sean técnica y espacialmente viables

En línea con lo que se comenta en la introducción y en el contexto de la problemática del crecimiento de la demanda de mercancías de forma paralela a la densidad de población, pero con la problemática de la limitación de espacios en los núcleos urbanos, este Trabajo Final de Máster plantea varios objetivos generales y otros cuantos específicos orientados a catalogar, analizar, estructurar y evaluar el uso de potenciales infraestructuras urbanas existentes que sirvan de apoyo a la logística urbana de última milla y descongestionen el espacio urbano, permitiendo mejorar la calidad de vida del ciudadano y reducir la huella ambiental dando una segunda vida a espacios ya existentes.

A continuación, se detallan tras el prefijo OG (“Objetivo General”) y OE (“Objetivo específico”) los objetivos de este trabajo:

### 2.1 Objetivo general

**OG1** El primero de los objetivos generales, cuestión clave en la temática del trabajo, es comprender cómo pueden aprovecharse las infraestructuras urbanas existentes y bajo qué criterios pueden colaborar a la mejora de la logística urbana de última milla. En este TFM se pretende desarrollar una metodología que sirva de catálogo de apoyo para decidir qué tipo de infraestructuras ya existentes son potencialmente válidas para dar soporte a la distribución de mercancías en la última milla de los núcleos urbanos. Se tomará la ciudad de Madrid como caso de estudio para resolver la problemática.

**OG2** Aprovechar infraestructuras infrautilizadas. La reutilización de infraestructuras urbanas

existentes permite que espacios que tradicionalmente se destinaban a un único uso doblen su actividad y tengan una segunda utilidad. Esto aumenta el rendimiento del propio espacio y evita que ciudad dependa de la búsqueda de espacios vacíos con una ubicación estratégica para la construcción de nuevas plataformas logísticas. Este planteamiento favorece una mayor eficiencia en el uso del espacio urbano, reduce el impacto ambiental asociado a nuevas edificaciones y mejora la operativa del reparto de última milla al crear espacios logísticos en las zonas donde también se va a proceder a la distribución.

## **2.2 Objetivos específicos**

### **OE1 Comprender y conocer los aspectos clave de la logística urbana de última milla en el contexto actual.**

Se pretende analizar la información y conocer en detalle el último tramo de la cadena de distribución de mercancías, en la que participan numerosos actores que potencian este flujo de repartos, haciendo que aumente el crecimiento de las actividades comerciales, pero en la que también intervienen condicionantes normativos y requerimientos espaciales que limitan y complican la logística en la distribución de mercancías en ciudades de gran densidad.

### **OE2 Analizar experiencias parecidas, nacionales o internacionales, si es que las hubiera, en las que infraestructuras urbanas existentes hayan sido utilizadas como soporte logístico.**

En la búsqueda de una optimización de las actividades son muchas las ciudades que ya han tomado medidas para liberar el espacio urbano y evitar conflictos entre ciudadano, espacio y distribución. En adelante se buscará identificar, estudiar y comparar casos de referencia donde se hayan implementado medidas similares para tomarlas de referencia e identificar las condiciones de implantación, limitaciones con las que se toparan, inconvenientes, ventajas y, en definitiva, aprender de ellas para que sirvan de base y poder aplicarlas al desarrollo este modelo de estudio.

### **OE3 Identificar, agrupar, categorizar las posibles infraestructuras urbanas y establecer los criterios y variables que condicionan su idoneidad.**

Para crear familias de espacios reutilizados según el potencial que estos tengan en cuanto a desarrollar actividades logísticas durante el reparto de mercancías y la capacidad de mejora del problema de logística de última milla que puedan dar, primero hay que establecer unos criterios que sean comunes y replicables a todas las infraestructuras y que, a raíz de estos y aplicando una herramienta de análisis metodológico, permita valorar cuantitativamente la idoneidad de un grupo de infraestructuras candidatas.

**OE4 Crear una guía o metodología de evaluación, en forma de listado o herramienta estructurada que permita valorar el potencial logístico de infraestructuras existentes.**

Que una vez de defina una metodología, se pueda incluir en un formato común que, además de ordenar las infraestructuras de estudio según potencial, incluya información útil de las mismas, así como su ubicación, categoría de uso, nombre real del espacio, tipo de propiedad (pública o privada) y observaciones que expresen la información al máximo.

**OE5 Analizar los condicionantes técnicos, urbanísticos y normativos que afectan a la implantación de espacios logísticos en infraestructuras existentes.**

Se pretende dar una segunda utilidad a espacios que ya tienen una actividad definida o incluso transformarlos para el mismo fin. Esto puede incurrir en limitaciones por requisitos técnicos, normativos o inclusive de espacio y accesibilidad que limite la actividad. Se busca analizar todos estos requisitos y ver si son compatibles con el planeamiento urbanístico vigente, las exigencias estructurales y de cargas, las condiciones de seguridad y más condicionantes que se detallarán y se incluirán en la metodología como aspecto clave para la valoración final.

**OE6 Aplicar la metodología propuesta a un caso de estudio en Madrid.**

Para tener unos resultados visibles y tangibles de lo estudiado, se plantea la ciudad de Madrid como escenario para evaluar infraestructuras concretas y aplicar la herramienta logística. A partir de los resultados obtenidos se sacarán conclusiones que puedan aportar valor a posibles nuevas líneas de investigación y desarrollo que vengan en el futuro.

### **3. Antecedentes**

Para Antes de abordar el análisis de la logística urbana de última milla y plantear una metodología para su mejora, es necesario ponerse en situación, contextualizar, analizar y llegar a la conclusión de qué procesos y transformaciones la han llevado a la situación actual y si realmente estamos ante una problemática que requiere solución. Para ello, en el apartado que se desarrolla a continuación se revisan los principales antecedentes demográficos, económicos y territoriales que han condicionado la evolución reciente de la movilidad de mercancías en las ciudades, para entender cómo la logística tradicional o primaria, que no tenía experiencia previa, pero tampoco problemas y limitaciones, ha derivado en las tensiones y restricciones administrativas que hoy se manifiestan en el entorno urbano y por las que este trabajo cobra sentido.

Más en concreto se investigará el cambio de los patrones de consumo asociados al auge del comercio electrónico, el reparto a domicilio a los procesos de distribución de mercancías y su relación con la transformación urbana y la concentración de población en las ciudades, que ocupan el espacio libre y provocan la descentralización de las infraestructuras logísticas obligando a desplazar sus centros de operación a áreas periurbanas.

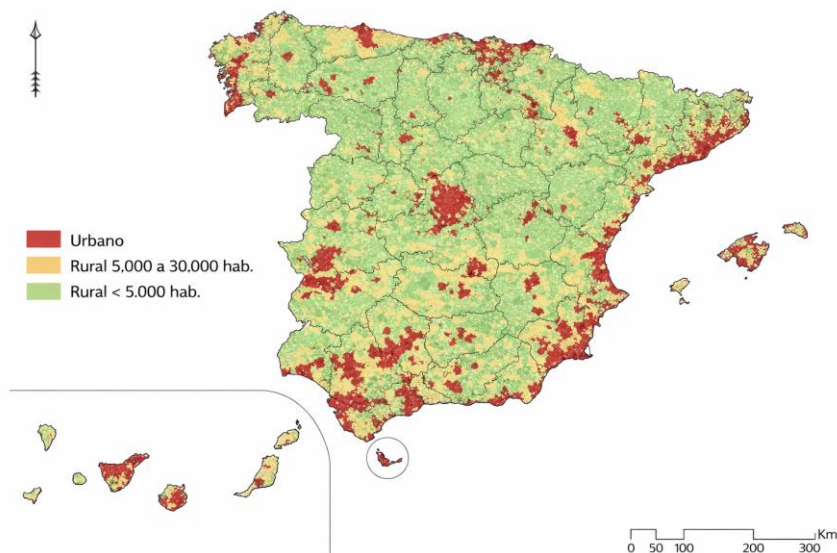
Todos estos apartados se desarrollarán por separado concluyendo en las necesidades derivadas de estos modelos de cambio:

#### **3.1 Transformación urbana y concentración de la población en grandes ciudades**

Los cambios económicos, tecnológicos y sociales han impulsado un cambio en la tendencia de urbanización a escala global en los últimos años. Las ofertas laborales, oportunidades educativas y las instituciones establecen sus sedes en las ciudades, lo que obliga al ciudadano a acercarse para facilitar su día a día. Este proceso de urbanización se ha intensificado desde finales del siglo XX con un progresivo desplazamiento de población desde áreas rurales hacia grandes núcleos urbanos (INE, 2023).

La concentración de población en las ciudades urbanas y grandes capitales ha experimentado un cambio. Cada vez es más la población que se concentra en las áreas urbanas. En concreto, a escala europea, se estima que más del 75 % de la población reside actualmente en ciudades, alcanzándose valores superiores al 80 % en países del sur de Europa como España (European Commission, 2018; Eurostat, 2022).

En España, la población empadronada en municipios rurales era de 7.538.929 personas en 2020, un 15,9 % del total de la población. Esto supone que el 84,1 % restante vive en las ciudades. Los municipios de tipo rural ocupan el 84% de la superficie de España. La conclusión es que el 84,1 % de la población está viviendo en el 16 % del territorio nacional.



*Ilustración 1 Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2013).*

La consecuencia de esta concentración urbana en términos de distribución de mercancías es que se ha incrementado la demanda de bienes y servicios de manera notable (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019). La concentración ciudadana y de empresas y el auge del sector servicios convierte la logística urbana en un elemento crucial para el funcionamiento de la ciudad. Es necesario planificar y buscar nuevos modelos de distribución para hacer la ciudad funcione a nivel logístico.

### **3.2 Cambios en los patrones de consumo y auge del comercio electrónico**

Los hábitos de consumo han cambiado significativamente. En primer lugar, la forma de comprar: el comercio electrónico se ha impuesto al comercio físico (CNMC, 2023). La red de distribución de mercancías ha aumentado para cubrir todos estos envíos, exigiéndose más para cubrir cada vez más rutas y puntos de entrega. Estos envíos cada vez son más pequeños y más frecuentes.

En España, el volumen de negocio del comercio electrónico ha experimentado un crecimiento acumulado superior al 200 % entre 2014 y 2022, con incrementos anuales especialmente acusados a partir de 2020 (CNMC, 2023).

En 2024 la se alcanzaron 1.216,6 millones de envíos de paquetes en España, lo que representa más de un 20% de la mercancía total que se movió por el país, y generó 6.669,9 millones de euros en ingresos (CNMC, 2025).

Con un volumen de negocio tan elevado, auge de las operaciones y el flujo de los pedidos, se requieren nuevos hábitos en la distribución de mercancías. Se exige más precisión y se presiona en la mejora de los sistemas de reparto urbano, especialmente en núcleos urbanos y zonas de alta densidad para cubrir cada vez más envíos, rutas y puntos de entrega (Silva, Amaral & Fontes, 2023).

### 3.3 Evolución del sistema logístico: descentralización de las infraestructuras logísticas

Desde finales del siglo XX, la ciudad de Madrid ha experimentado un crecimiento demográfico notable, superando por primera vez los 3,5 millones de habitantes en 2025 y sin parar de crecer desde 2019, cuando la población era de alrededor de 3,27 millones de empadronados:

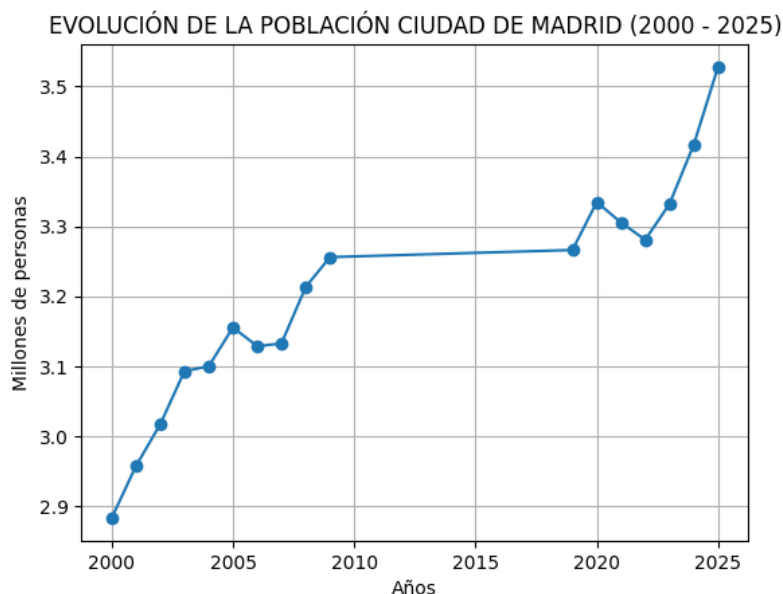


Ilustración 2 - Evolución población Ciudad de Madrid SXXI. Elaboración propia a partir de datos de EPData (2025)

También, la ciudad se ha expandido hacia las afueras y lo que ahora es el núcleo urbano hace un siglo era la ciudad en su totalidad (Montoliú, P. (Coord.), 2023). Y es que la expansión de la ciudad ha dado lugar a urbanizar grandes extensiones de terreno para albergar nuevas viviendas, urbanizaciones y zonas de servicios urbanos. Esta expansión ha ido desplazando progresivamente los centros logísticos de almacenamiento y distribución de mercancías hacia

las zonas periurbanas. Cada vez requieren más espacio y no dan cabida en los centros de la ciudad, donde el suelo que queda libre es cada vez más reducido y el que es ocupado se destina principalmente a albergar viviendas o para usos comerciales (Ubyko, 2023). La actividad de reparto se ejerce principalmente en las zonas urbanizadas y la imposibilidad de conseguir instalaciones próximas a las ciudades ha forzado la relocalización de las infraestructuras logísticas hacia las afueras.

En el caso de Madrid, este proceso se ha materializado en la concentración de grandes plataformas logísticas en corredores metropolitanos, como el Corredor del Henares o los ejes de las autovías radiales, donde se ubican centros de recepción de mercancías, almacenaje y distribución a gran escala destinados a operaciones regionales y nacionales. Esta ubicación implica la lejanía a las zonas de reparto haciendo que las mercancías tengan que recorrer la última milla hasta los puntos de consumo del interior de la ciudad, con amplios tramos de recorrido que pueden ser de ida y vuelta si no se completa el proceso de entrega. Para distribuir la mercancía se usan numerosos métodos de transporte que incrementan la intensidad del tráfico, los costes operativos y complican la gestión logística, generando además un impacto ambiental.

### **3.4 Incremento del tráfico de mercancías y congestión urbana**

El tráfico de vehículos destinados al transporte de mercancías ha aumentado de forma significativa en las ciudades. Se estima que hasta 8000 vehículos de reparto de mercancías entran a Madrid 360 en una jornada laboral lo que representa entre el 15 % y el 25 % del tráfico urbano, con picos elevados en determinadas franjas horarias (Cruz de la Prida, 2020)

El transporte de mercancías en la última milla contribuye a la congestión viaria, la ocupación del espacio público y las emisiones contaminantes, sobre todo en los distritos más céntricos con elevada actividad comercial. En 2019 en España, los vehículos de distribución de mercancías estuvieron implicados en más del 16 % de los accidentes con víctimas en las zonas interurbanas (Ubyko, 2023). Son los vehículos de reparto quienes, con las actividades de carga-descarga y estacionamientos en doble fila en carriles de circulación reducen la capacidad de la vía y generan congestión y problemas en el tráfico. Además, generan conflicto con los ciudadanos ya que compiten por el espacio con los coches y sufren la contaminación acústica y ambiental que estos generan.



*Ilustración 3-Accidente de vehículo de mercancías. Fuente: El Correo, 2021*

Una de las problemáticas que más daño ocasiona son las entregas fallidas. En el reparto de mercancías a domicilio, la cadena de distribución se rompe si el destinatario del producto no lo recibe. La ausencia del destinatario en el momento de la entrega puede alcanzar porcentajes cercanos al 10–15 % de los envíos urbanos, obligando a las empresas de distribución a realizar nuevos intentos de reparto duplicando los desplazamientos e incidiendo el doble en la última milla, volviendo a generar estos problemas en la congestión urbana (David B, Citibox 2023).

### **3.5 Restricciones al tráfico y conflicto por el uso del espacio urbano**

Una de las tendencias en la política urbana de los últimos años ha sido restringir o limitar el tráfico urbano para mejorar la movilidad urbana, reduciendo así emisiones y ruidos. Estas medidas pretenden reducir el uso vehicular en la ciudad y aumentar el transporte público, colectivo y la peatonalización (Novocargo, 2023). Aun así, las ciudades se ven colapsadas por el aumento de la densidad poblacional y por la demanda de servicios de transporte. Limitar la circulación vehicular tiene como consecuencia el colapso de otras vías y el empeoramiento de la calidad del tráfico y pérdidas monetarias en la cadena de distribución (Transporte Inmediato, 2023).

La logística de Última Milla se enfrenta a este reto: esquivar los obstáculos de la densidad de tráfico y la reducción de espacios de circulación para poder distribuir mercancías de forma eficiente. Para esto debe adaptarse y renovarse a las exigencias normativas y logísticas, optimizando rutas y entregas para mejorar la eficiencia y reducir tiempos de entrega.

### 3.6 Necesidad de nuevos enfoques para la logística de última milla

Toda esta tendencia al cambio en el modelo de consumo, la evolución demográfica, los condicionantes de la ciudad y las restricciones administrativas al cambio llevan a la necesidad de plantearse una mejora en el modelo de transporte y distribución de mercancías.

El transporte es la parte más cara de los costes que asume una empresa logística. Supone un 51 % de los costes logísticos (Ubyko, 2023). En concreto, el tramo de última milla la fase más costosa, compleja y menos eficiente, concentrando el 30% del coste total del transporte urbano (Cushman & Wakefield & P3 Logistic Parks, 2017).

#### Costes Logísticos de la Distribución de Mercancías

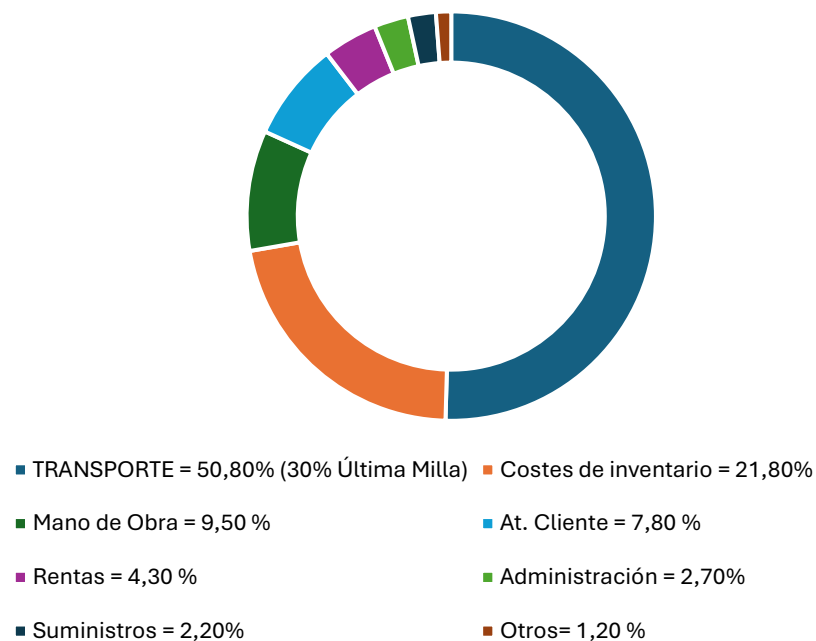


Gráfico 1 - Costes logísticos de la Distribución de Mercancías. Gráfico de construcción propia. Fuente: Ubyko, 2023

Para ahorrar en gastos, reducir el impacto en la distribución con rutas más cortas y evitar construcción de nuevas infraestructuras logísticas, que implica elevados costes económicos, consumo de suelo y aumento de la huella de carbono, además de ser contraproducente para reducir las rutas de transporte, alejando el punto de partida de la salida de mercancías a distribución a las afueras de la ciudad, surge la necesidad de buscar soluciones basadas en el aprovechamiento del tejido urbano existente, infraestructuras existentes de la propia ciudad que puedan dar soporte a las actividades logísticas de última milla y que aporten sostenibilidad al entorno y eficiencia en el uso de recursos (European Commission, 2020).

#### 4. Estado del arte

Antes de plantear una metodología que busque soluciones para mejorar la logística en la última milla es necesario saber cómo esta se comporta, que actores la componen y por qué se ha convertido este último tramo de la cadena de reparto en un auténtico reto para las empresas de movilidad y las administraciones (Movilidad Sostenible, 2022).

Como se ha comentado en antecedentes, los problemas en la última milla crecen cuanto más densamente ocupado está el territorio. En estos espacios sobresaturados es donde se producen al mayor número de desplazamientos de ciudadanos y bienes consumibles, y donde se desarrolla la mayoría de las actividades económicas. El resultado y el problema que deriva de esto son las limitaciones espaciales que a su vez empeoran la calidad ambiental, aumentan el ruido y saturan el espacio urbano. La consecuencia son las regulaciones a la movilidad y las restricciones de circulación.

Todo esto convierte la distribución urbana de mercancías en un elemento crítico para el desarrollo de las ciudades, la calidad de vida de los ciudadanos y el desarrollo económico de una población (Ubyko, 2023).

Las grandes empresas de distribución, presionadas por el aumento en las tendencias de consumo, el comercio electrónico y la exigencia de envíos rápidos adaptados al destinatario, deben renovarse y desarrollar complementos en los núcleos de las grandes ciudades, mitigando el impacto del reparto urbano en la última milla. Una de las tendencias que exploraremos en este TFM es la consolidación de espacios de proximidad para el manejo de mercancías, como centros de consolidación urbana, *microhubs*, *lockers* o pequeños almacenes urbanos ubicados en zonas intermedias de la cadena de distribución y que se encuentren lo más cerca posible al destinatario final.

Ya existen experiencias y estudios similares, pero es complicado unificarlos puesto que todos son distintos entre sí y siguen patrones únicos. Cada uno está ligado a los patrones que les definen y desde una perspectiva personal. En los apartados que vienen a continuación se pretende revisar todo aquello que aporte información al desarrollo de este trabajo sobre logística urbana de última milla e identificar las causas de por qué este tramo es tan complejo y las posibles soluciones existentes que tratan de liberarla. Se identificarán las tendencias y dinámicas del auge del comercio electrónico, los flujos B2B (*Business to Business*) y B2C (*Business to Consumer*) o la logística inversa. Se prestará atención a las soluciones que han surgido sobre reutilización de infraestructuras existentes, qué tipologías hay y qué barreras deben superar, todo con el fin de aportar una solución de mejora.

#### 4.1 Causas de la presión y el deterioro en las operaciones de última milla

Los cambios en los patrones de consumo, el auge del comercio online y la exigencia de entregas a domicilio cada vez más rápidas pone el foco de presión sobre la última milla y los procesos que ocurren dentro de ese tramo. El 34% de los consumidores realiza compras online entre 2 o 3 veces al mes y 68 % de los compradores prefiere la entrega a domicilio (Correos Express, 2025) y eso tiene consecuencias. Las operaciones de distribución de mercancías son cada vez más complejas: envíos fragmentados, logística inversa, que es el resultado de las entregas fallidas y la amplia demanda de productos aumenta las paradas en el recorrido de reparto de mercancías, ocupando la vía y ejerciendo una presión sobre la necesidad de liberar el tramo de última milla. A esta presión por el aumento de las entregas se le suma que el espacio urbano cada vez es más reducido y está más densamente poblado (Envíame, 2023). En este contexto es necesario analizar de forma específica las dinámicas y actividades que están contribuyendo a deteriorar la eficiencia de la logística en la última milla y así entender las nuevas estrategias de organización logística en entornos urbanos.

##### 4.1.1 Tendencias B2B y B2C

En el ciclo de distribución de una mercancía se distinguen los flujos según su destinatario final. Los flujos **B2B (Business to Business)** son repartos de mercancías entre empresas o comercios. Más concretamente son empresas que venden a otras empresas y tienen un fin más comercial (Startuplinks, 2025).

En cambio, la distribución **B2C (Business to Consumer)** es el reparto de mercancías de empresas al consumidor final. El único intermediario entre negocio y cliente es la empresa encargada del reparto de mercancías. Este flujo comercial, más característico del comercio online, suele ser más exigente porque está destinado a satisfacer las necesidades de un consumidor final que pretende satisfacer sus necesidades materiales y emocionales (Clavei, 2020)

El aumento de las compras online en España y el flujo de mercancías B2C es notable. Este se ha multiplicado por 6 en los últimos 10 años y representa un 4,4% del comercio (CNMC, 2020).

El crecimiento del comercio electrónico en España ha sido sostenido en los últimos años, alcanzando volúmenes de negocio cada vez más elevados, como se muestra en la **Tabla 1** (ONT-SI, 2024) donde se observa una facturación de hasta 22.707 millones de euros en el cuarto trimestre de 2023.

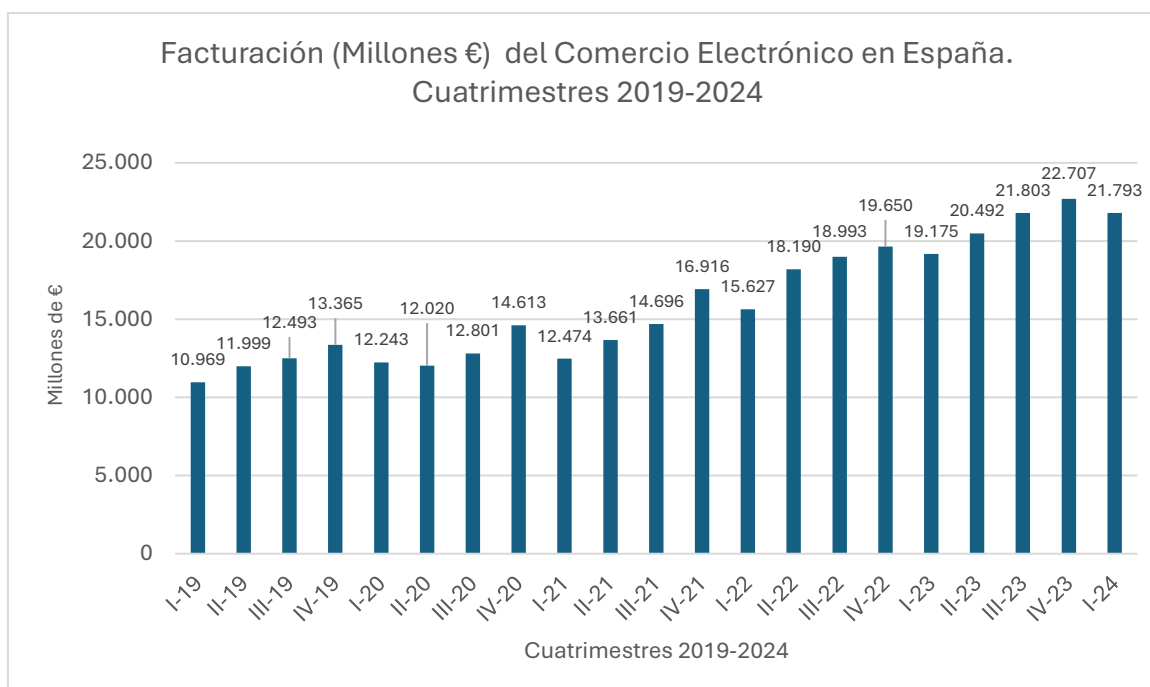


Gráfico 2-Crecimiento de la facturación anual del B2C en España. Gráfico propio con datos de CNMC, 2024

La consecuencia del aumento del comercio online y el flujo de mercancías B2C es el incremento del número de envíos unitarios a zonas más dispersas, con mayor frecuencia y exigencias de flexibilidad y rapidez. Esto dificulta el proceso de distribución, aumentando el número de paradas en la ruta, ocupando la vía para las operaciones de carga y descarga y dificultando la movilidad en las ciudades y la logística urbana en la última milla (Comercio Conectado, 2024). Una de las repercusiones que tiene este flujo de compra B2C asociado al auge del comercio electrónico es la denominada logística inversa. Asociada a las devoluciones, sobrecarga la red de distribución y hace que los problemas en la última milla se intensifiquen.

#### 4.1.2 Consecuencias operativas que explican el deterioro de la última milla. La logística inversa.

Estas exigencias consecuencia de la intensificación de del comercio online y el cambio en el modelo de consumo dentro del flujo B2C se traducen en una serie de problemas operativos que repercuten a las empresas de distribución y se reflejan en las zonas urbanas y la saturación de la última milla.

Una de las causas de la saturación de la cadena de distribución de mercancías es la Logística Inversa. Este es el proceso de devolución de las mercancías a través de la misma cadena de distribución. Una vez un cliente recibe un producto, el proceso de distribución empieza un proceso inverso, moviéndose hacia atrás desde el destinatario, pasando por el distribuidor hasta

el fabricante. Se devuelve menos del 10% de las compras en la tienda, en comparación con al menos el 30% de los artículos pedidos online (Universidad Europea, 2023).

También entran en este proceso las entregas fallidas. La imposibilidad de completar la entrega en el primer reparto hace que el proceso de distribución se reinicie y vuelva al origen de la cadena logística, duplicando desplazamientos y generando recorridos inútiles. (Citibox, s.f)

Este fallo en el proceso de entrega de una mercancía tiene como resultado es el deterioro de la Última Milla, aumentando los tiempos de parada asociados a las cargas y descargas, el estacionamiento en doble fila o en espacios no habilitados, restringiendo el tráfico y generando interferencias en el espacio viario, sobre todo en zonas de alta densidad comercial o residencial. También las emisiones de CO<sub>2</sub>, sobre todo cuando el operador tiene que volver a realizar la entrega o repetir el recorrido de reparto varias veces (Citibox, s.f).

Estos problemas que derivan del aumento del comercio electrónico y las entregas B2C se incrementan además por la organización espacial y operativa en las ciudades y la evidente necesidad de soluciones para reducir estos recorridos, con espacios de apoyo y centros logísticos cercanos a las zonas de demanda.

#### **4.1.3 Los impactos que genera la intensificación de la última milla en las ciudades. Concentración de emisiones.**

La calidad y el funcionamiento del entorno y las herramientas urbanas sufren estas consecuencias operativas de la logística de última milla. Se estima que la distribución urbana de mercancías representó alrededor de un 38 % del tráfico en el centro de Madrid en 2019, y que podrían alcanzar casi un 47 % hacia 2026 (Aerococ, 2020).

La congestión viaria fruto del aumento de desplazamientos y de vehículos de distribución de mercancías deriva en una fuente de emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. La repetición de recorridos, los desplazamientos innecesarios, los trayectos no optimizados y la repetición de arranques y paradas, las trayectorias no optimizadas y la prolongación de los tiempos de circulación provocan un incremento de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) u óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y otros compuestos asociados al consumo de combustibles fósiles (MITECO, 2026).

Las principales ciudades españolas registraron en 2025 concentraciones medias anuales de NO<sub>2</sub> en torno a 30 µg/m<sup>3</sup>. La Unión Europea había establecido un máximo de 20 µg/m<sup>3</sup> (Ecologistas en Acción, 2026).

CONCENTRACIÓN DE EMISIONES DE NO2 EN CIUDADES ESPAÑOLAS $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
Ciudad	Población 2025	Estación de medición	2025	2024	2023
Madrid	3.506.730	Plaza Elíptica	32	31	36
Málaga	599.063	Avenida Juan XXIII	31	30	31
Granada	233.975	Granada Norte	30	31	32
Barcelona	1.731.649	Eixample	29	32	35
Murcia	479.405	San Basilio	29	30	28
Pamplona/Iruña	209.094	Felisa Munarriz	27	28	31
València	840.792	Olivereta	26	30	34
Sevilla	689.423	Torneo	25	24	26
Bilbao	351.124	María Díaz de Haro	25	26	29
Vigo	294.489	Oeste	25	21	21
Oviedo	223.968	Palacio de Deportes	24	22	26

Tabla 1 - Concentración NO2 ciudades españolas. Elaboración propia, Fuente: MITECO y CCAA)

Además de lo elevado de estos niveles, el aumento de los niveles de ruido y los problemas de seguridad vial entre vehículos de reparto con otros usuarios de la vía incrementa el riesgo de conflictos y perjudica el a todos los agentes del espacio urbano.

#### 4.1.4 Políticas urbanas que condicionan el reparto de mercancías en Última Milla

La forma de atajar estos impactos por parte de las administraciones ha sido establecer políticas específicas asociadas al tráfico y al reparto de mercancías para regular el acceso, operación y reducir el impacto ambiental urbana. Estas políticas buscan una mejora ambiental, la reducción de la congestión y la correcta distribución del espacio público, pero en consecuencia condicionan la organización de la última milla, limitando actividades operacionales y suponiendo un rato para las empresas (Movilidad Sostenible, 2022)

En Madrid, la implantación de Zonas de Bajas Emisiones (ZBE), dentro del ámbito de Madrid Central y que posteriormente fue integrado en la estrategia Madrid 360 restringe el acceso de vehículos en función de su etiqueta ambiental. Se calcula que esta estrategia puede afectar hasta un 50% de la flota actual de vehículos de mercancía (Autónomos en Ruta, Junio 2024).

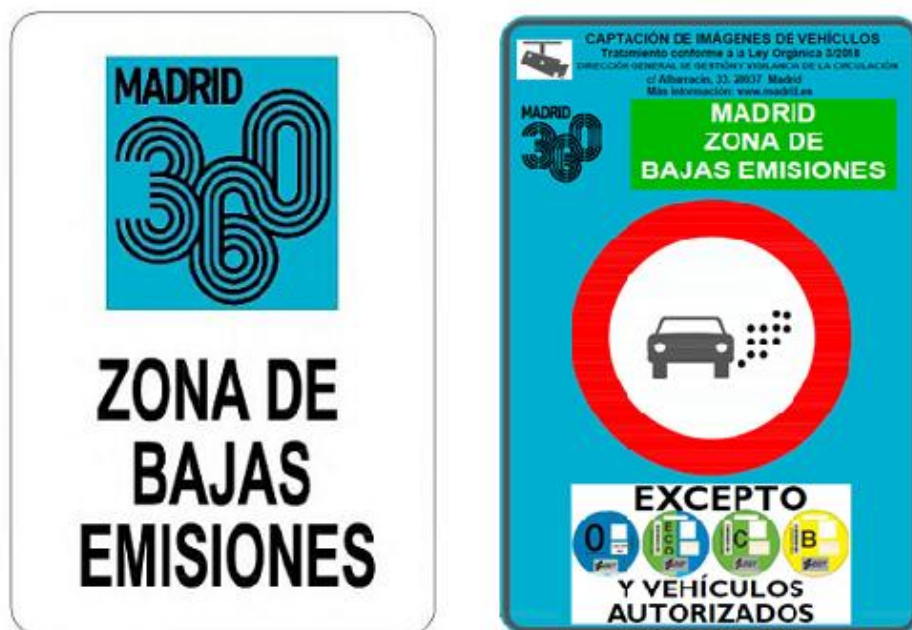


Ilustración 4- Carteles de Madrid 360. Fuente Ayuntamiento de Madrid

En Londres, la Ultra Low Emission Zone (ULEZ) establece algo parecido. La mayoría de los vehículos fabricados antes de 2006 y los diésel anteriores a 2015 deben pagar una tasa diaria de 12,50 libras para circular en el área de la ciudad de Londres y 32 distritos de alrededor (Urban Access Regulations, s. f.).

En Barcelona se ha regulado las zonas de carga y descarga implantado sistemas de control inteligente que limitan el tiempo de estacionamiento y priorizan determinados tipos de vehículos o franjas horarias (Ajuntament de Barcelona, 2020)

En París, para evitar que los vehículos de mercancías confluyan con el tráfico del centro urbano, se han establecido ventanas horarias para el reparto (Ministère de la Transition Écologique, 2025)

Prohibición de Tránsito de Vehículos > 7,5 t		
	Paris → Provincia	Provincia → Paris
<b>Lunes y día después de un día festivo</b>	-	6h - 10h
<b>Viernes</b>	16h - 21h	-
<b>Sábado</b>	10h - 18h	22h - 24h
	22h - 24h	
<b>Domingo y día festivo</b>	00h - 24h	00h - 24h
<b>Víspera de día festivo</b>	16h - 24h	22h - 24h

Tabla 2 - - Restricciones horarias tráfico vehículos >7,5 tn. Tabla elaboración propia, Fuente: Ministère de la Transition Écologique. 2025.

## 4.2 Soluciones para mejorar las actividades logísticas de última milla

Ante las limitaciones operativas, espaciales y de regulación comentadas y que afectan a la distribución urbana de mercancías se plantean estrategias para potenciar las actividades en la última milla y reducir los impactos generados, adaptándose a las regulaciones establecidas (Logistop, s. f.). La reutilización de espacios en los núcleos urbanos representa una idea innovadora y eficaz, que se adapta al espacio disponible cada vez más limitado y apoya a la logística de última milla desde dentro.

### 4.2.1 Reutilización de nodos logísticos urbanos ya existentes que intervengan en la distribución de última milla

En contextos urbanos densamente poblados, una de las tendencias que se ve cada vez más en el día a día es utilizar infraestructuras existentes que sirvan de soporte a la última milla. Muchos de estos espacios reutilizados ya forman parte de la red urbana existente:

**T1 – Microhubs Logísticos en Aparcamientos Públicos:** Los *microhubs* logísticos caracterizados por su menor tamaño respecto a un centro logístico general surgen en zonas de centro de ciudad en una localización más próxima a los destinos finales. Se orientan principalmente a funciones de transbordo de mercancías de un vehículo más grande a varios más pequeños y que puedan desenvolverse mejor en el núcleo urbano donde el destinatario espera la mercancía (Ayuntamiento de Madrid, 2026).

En Madrid ya existen un total de 8 *Hubs* Logísticos impulsados por el Ayuntamiento. Aparte de transvase, también sirven para almacenamiento de la mercancía. Han aprovechado aparcamientos públicos ya existentes cerca del centro urbano y los han reconvertido.

<b>HUBS DE MOVILIDAD EN MADRID</b>	
<b>HUB de movilidad</b>	<b>Situación</b>
<b>Canalejas 360</b>	Calle Alcalá, calle Sevilla y plaza de Canalejas
<b>Recoletos</b>	Paseo de Recoletos, entre Cibeles y Colón
<b>Paseo de Artilleros</b>	Paseo de Artilleros, sobre la estación de Metro de Vicalvaro
<b>Plaza del Carmen</b>	Plaza del Carmen
<b>Cortes</b>	Plaza de las Cortes
<b>Plaza de España 360</b>	Plaza de España
<b>Santa Ana</b>	Plaza de Santa Ana
<b>Luna-Tudescos</b>	Entorno de Luna / Tudescos, junto a Callao-Gran Vía

Tabla 3 - Hubs de Movilidad en Madrid. Tabla elaboración propia. Fuente: Ayuntamiento de Madrid

**T2 - Nodos Logísticos en infraestructuras de transporte:** Otra tendencia relevante es el aprovechamiento del espacio que ofrecen las infraestructuras de transporte para almacenar la mercancía y la propia red de transporte para su distribución. Estaciones de tren, intercambiadores o espacios intermodales de transporte pueden albergar una importante función logística en la última milla.

Un ejemplo claro es Ámsterdam, que a través de su Ayuntamiento y colaborando con empresas de mensajería y operadores logísticos como DHL, ha elaborado un sistema de distribución urbana de mercancías a través de la red de canales y muelles urbanos existentes. Este modelo reutiliza muelles y atraques que tradicionalmente se destinaban al amarre de embarcaciones de servicio y los han reconvertido en puntos logísticos de transbordo para la última milla (City of Ámsterdam, 2020). La mercancía se carga en barcos eléctricos y se transporta por la red de canales hasta la entrega al cliente en la última milla.



*Ilustración 5-Imagen barco de reparto de mercancías Fuente: Reddit*

**T3 – Almacenes urbanos. Centros de consolidación urbana de mercancías:** Esta tipología está muy extendida, aunque suele estar en entornos periurbanos. La función es agrupar mercancías procedentes de distintos operadores para distribuirlas más adelante al centro de la ciudad. Es el paso previo a la distribución urbana (MOOEVO, s. f.).

Un ejemplo es el Centro de Consolidación de Carga de Regent Street, en Londres. Es un centro logístico que se encuentra justamente en el exterior del área donde se ubican los comercios de la calle Regent Street. En este centro se agrupan las mercancías y se distribuyen en vehículos de reparto más consolidados a cada uno de los negocios de la calle.

**T4 - Aprovechamiento de líneas de Metro de Madrid:** La Comunidad de Madrid ha aprobado permitir el transporte de mercancías a través de la red de Metro. El modelo se basa en aprovechar las horas de baja o nula demanda de pasajeros sobre todo en horarios nocturnos, donde no se preste servicio para el transportar paquetería entre estaciones. Se utilizan los propios Metros y se le da una funcionalidad en vez de tenerlos parados (Ayuntamiento de Madrid, 2025).

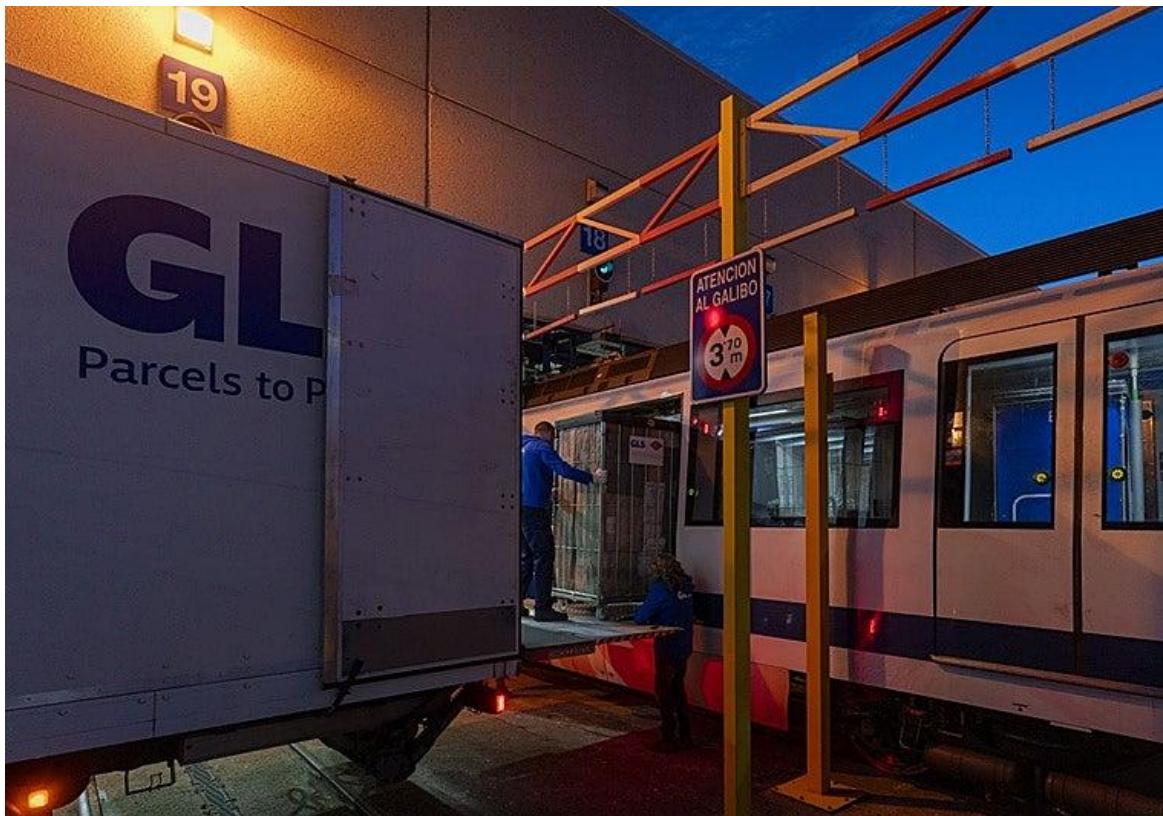


Ilustración 6 Distribución de paquetes en la red de Metro de Madrid. Fuente ABC, 2024

El servicio permitirá desplazar hasta 5.000 paquetes diarios y evitar la circulación en superficie de alrededor de 700 furgonetas de reparto (Ruta del Transporte, 2025).

**T5 – Espacios públicos infrautilizados:** En esta misma línea, el Ayuntamiento de Madrid ha anunciado la transformación de la base de grúas de Colón en un *Hub* logístico urbano donde se podrán efectuar operaciones de carga y descarga, almacenamiento y carga de la flota eléctrica de vehículos de reparto en la Última Milla (Diario Madrid, 2026).

**T6 – Comercios y mercados minoristas:** Otra línea de actuación importante es aprovechar los comercios y mercados urbanos como espacios logísticos donde almacenar mercancías o establecer un punto de recogida. Así se otorgan nuevas funcionalidades a establecimientos que ya desarrollan una actividad propia, incrementando el rendimiento del espacio disponible.

Además, muchos de ellos están integrados en el tejido urbano en una buena ubicación y tienen espacios disponibles para el almacenamiento por la funcionalidad que desarrollan. Los horarios de apertura y capacidad de manipular las mercancías les hacen útiles en el tramo de última Milla. Desde el punto de vista urbano, estos sistemas contribuyen a disminuir el número de desplazamientos de reparto, optimizar rutas y reducir la presión sobre el espacio público, especialmente en áreas densas con alta actividad comercial (DHL, 2025)

Como punto de recogida, pueden instalarse unos *lockers* urbanos en algún espacio disponible del mercado o del comercio. Este método está muy orientado al comercio electrónico y al flujo de mercancías B2C y sirven de soporte para almacenar las mercancías que vengan de un fallo en la entrega o como alternativa para reparto a domicilio. Esto reduce rutas, alivia el espacio urbano y evita los problemas de logística inversa. Sus horarios son amplios ya que no requieren personal operando, en muchos casos 24/7 si el espacio lo permite (SETROCM, 2025).



Ilustración 7-Locker urbano (SETROCM, 2025)

#### 4.2.2 Ciudades que ya han impulsado la Reutilización de Espacios para Última Milla y los condicionantes para hacerlo

**C1 – Ciudades con alta densidad de población y limitaciones de espacio:** La reutilización de infraestructuras para logística de última milla aparece sobre todo en ciudades densamente pobladas y ocupadas, tanto por número de habitantes como por saturación de espacio, donde el espacio viario y el suelo disponible son escasos. Movilidad Sostenible. (2022). Es lógico que en las grandes metrópolis y urbes se replantee el uso de infraestructuras existentes para liberar la última milla y dotarles de un uso logístico ya que la imposibilidad práctica de construir nuevas plataformas logísticas dentro de la ciudad crea esta necesidad.

En estos contextos, la competencia por el espacio público entre peatones, transporte público, tráfico privado y reparto urbano es especialmente intensa, lo que convierte a los **activos urbanos infrautilizados** (parkings, bajos, muelles) en oportunidades estratégicas para absorber funciones logísticas sin incrementar la ocupación del viario.

Envíos B2C en las ciudades más densamente pobladas			
Ciudad	Densidad de Población (hab/km <sup>2</sup> )	Envíos B2C Habitante/año	Crecimiento anual del reparto últimos 5 años
París	20.000	120	5-8%
Ámsterdam	5.000	100	4-6%
Milán	7.500	110	6-9%
Tokio	>6.000	180	3-5%
Hong Kong	6.800	200	4-6%
Londres	5.700	120	5-7%
Nueva York	11.000	150	6-10%

Tabla 4 - Envíos B2C según densidad ciudades. Tabla de creación propio. Fuente: Eurostat / UN DESA

El crecimiento del reparto es constante y en ciudades tan densamente pobladas se nota necesario actuar para evitar conflictos entre el reparto de la mercancía y el correcto funcionamiento de la logística urbana.

**C2 – Elevado coste del suelo en las grandes ciudades.** Otro de los factores que invita a buscar estrategias como el aprovechamiento de infraestructuras para liberar la última milla es el alto coste del suelo urbano. En las grandes metrópolis el precio del suelo es cada vez más caro y limitado. Es en estas ciudades donde reutilizar infraestructuras existentes permitiría ahorraría

en costes y aceleraría los plazos para lograr instalar un nuevo nodo logístico. Además, evita el problema de buscar un espacio útil en el tramo de última milla.

<b>Coste del suelo en el centro urbano de grandes ciudades</b>			
<b>Ciudad (Centro urbano)</b>	<b>Coste del suelo urbano(€/m2)</b>	<b>Coste del alquiler logístico urbano al año (€/m2)</b>	<b>Viabilidad nueva plataforma logística</b>
<b>París</b>	10.000 -15.000	250 - 400	Muy baja
<b>Londres</b>	8.000 - 14.000	220 -330	Muy baja
<b>Ámsterdam</b>	6.000 - 10.000	180 - 300	Baja
<b>Milán</b>	5.000 - 9.000	160 - 280	Baja
<b>Madrid</b>	4.500 - 8.000	140 - 260	Baja
<b>Tokio</b>	12.000 - 20.000	300 - 500	Muy Baja
<b>Hong Kong</b>	15.000 - 25.000	350 - 600	Prácticamente nula
<b>Nueva York</b>	9.000 - 18.000	250 - 400	Muy Baja

*Tabla 5 - Coste aproximado en € m2 en grandes capitales. Tabla de elaboración propia. Fuente: Idealista*

#### 4.2.3 Agentes y Gobernanza en la Logística de Última Milla

**A1 – Administraciones públicas:** Son las Administraciones las que desempeñan el papel fundamental en la Logística de Última Milla. Gestionan, organizan y financian el sistema urbano de mercancías y su objetivo no es reducir las consecuencias originadas por un mal reparto. Busca reducir los impactos negativos como la congestión, emisiones, el ruido o la mala ocupación de la vía y que el reparto urbano sea compatible con el funcionamiento urbano (Ayuntamiento de Madrid, 2025).

En España, son las administraciones locales y autonómicas las que regulan la normativa en materia de movilidad urbana y logística de última milla, siendo responsables de la gestión del espacio público, la gestión del tráfico de mercancías, la ordenación urbana y las normativas ambientales (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, s.f). Las restricciones al tráfico comentadas previamente son gestionadas por la Administración Local, al igual que los permisos para poder desarrollar una actividad logística en un espacio que ya tenga una funcionalidad principal.

**A2 – Operadores logísticos y empresas de mercancías:** Son el motor de la cadena logística de distribución de mercancías y quienes se encargan de gestionar todo el proceso desde el almacenaje y el transporte desde que la mercancía sale de su origen hasta que llega al destino final. Su objetivo es alcanzar el mayor beneficio económico, maximizando la eficiencia en los recorridos, cumpliendo las restricciones ambientales establecidas por la administración y mejorando la productividad por ruta (Logistiko, 2024). Se explica de esta forma el desarrollo de espacios logísticos de proximidad a los núcleos de la ciudad. Estos espacios permiten a estas empresas reducir la distancia recorrida en el tramo final, adaptando su ruta de reparto y reduciendo costes económicos.

**A3- Colaboración público-privada** La colaboración de las administraciones con las empresas privadas cada vez es más común la gestión de la logística urbana de última milla. Partiendo de la base que ni las administraciones públicas ni los operadores privados disponen de todos los recursos necesarios, una se puede apoyar en la otra para abordar un problema urbano de distribución de mercancías en ciudad (CityLogin, 2024).

Por un lado, la administración pública define unos objetivos urbanos, unas normativas de reducción de emisiones y pretende resolver la problemática de movilidad, mejorando el espacio

público. De esta forma, la administración puede facilitar infraestructuras y espacios públicos para que los agentes de movilidad actúen. Desde el otro lado, el sector privado aporta la operatividad, la inversión económica, los recursos físicos de movilidad y la experiencia en la gestión diaria del reparto. Se puede aprovechar de las ventajas que otorga la administración pública como puede ser la cesión de espacios urbanos existentes. La colaboración público-privada es un elemento para encontrar soluciones operativas y tecnológicas a la problemática de última milla, permitiendo reducir las barreras de entrada a la innovación logística (Logistop, 2023).

#### **4.2.5 Barrera y variables con las que se puede juzgar la validez de una infraestructura para albergar un uso logístico**

La forma de operar de los nodos logísticos y las infraestructuras que alberguen una actividad logística en la última milla son muy diferentes. El cómo operen condiciona directamente si se puede o merece la pena establecer un uso logístico, si va a ser eficiente, el impacto urbano que pueda provocare e incluso la viabilidad real para reutilizar estas infraestructuras existentes.

Estos condicionantes suelen ser el horario que puedan estar operativos, la posibilidad real de poder desarrollar una segunda actividad distinta de la original, la afección a la función logística principal y el flujo que gestionen de personas y mercancías. Como se ha comentado previamente, la logística de última milla está condicionada por normativas y límites que marca la administración además de barreras técnicas del propio espacio y juicios urbanos y sociales, que condicionan si es viable operativamente y la aceptación institucional y ciudadana que vayan a tener.

**M1 – Horario:** Condiciona cuánto de viable es un nodo logístico urbano para albergar una operación. Para evaluar infraestructuras debe ser un pilar de decisión y una variable importante para tener en cuenta en aquellos casos donde la reutilización se basa en el aprovechamiento de ventanas temporales de infrutilización.

**M2 - Barreras legales y de uso del suelo:** Una de las barreras más frecuentes para aprovechar una infraestructura existente es que el uso logístico que se le quiere dar y la calificación urbanística original del suelo o del edificio sean incompatibles. Muchas de las infraestructuras potencialmente aprovechables están sujetas a limitaciones por el uso específico dentro del planeamiento. La necesidad de modificar el uso del suelo o abstenerse a normativas y planes generales lleva a los operadores privados a la inseguridad a la hora de decidir si invertir.

**M2- Barreras administrativas y de licencias:** Incluso si el uso logístico es compatible para desarrollar la actividad hay que pedir licencias específicas para las obras o medioambientales, ya que las infraestructuras originales no están pensadas para usos mixtos. Estas licencias se retrasan y generan dudas en el proyecto.

**M3- Barreras estructurales, constructivas y de seguridad:** las infraestructuras originales existentes no fueron diseñadas para albergar la actividad logística que se le pretende dar, por lo que pueden toparse con problemas propios de cualquier infraestructura de almacenamiento de mercancías: limitaciones por la carga de las mercancías, espacio insuficiente, radios de giro para maniobrar con los vehículos de mercancías y gálibos incompatibles.

Se debe controlar riesgos por la introducción de la mercancía y que exista un riesgo de incumplimiento de normativas de **protección contra incendios y que** las medidas de evacuación sean insuficientes con obstáculos como la mercancía. Todo esto puede limitar e incluso ser restrictivo para desarrollar la actividad logística.

**M-4 Barreras ambientales:** Aunque se reduzcan globalmente si se interviene en la última milla, esta actividad logística no deja de producir impactos ambientales, sobre todo en entornos residenciales. Esto puede provocar restricciones de horarios para operar y una percepción ciudadana de la logística urbana negativa, asociada al ruido, tráfico y degradación del entorno.

**M-5 Barreras estratégicas y de gobernanza:** Falta una estrategia común de las infraestructuras para que tengan en cuenta y deduzcan si una infraestructura puede o no puede operar y si compensa o no hacerlo. El que las administraciones no tengan una forma de valorar la idoneidad de estas infraestructuras dificulta trabajar en implantar las soluciones planteadas. Se debería plantear unos criterios con los que seleccionar y evaluar cómo seleccionar una infraestructura útil para usos logísticos.

### **4.3 Criterios para evaluar y decidir cómo se elige el dónde y qué reutilizar**

La decisión de reutilizar una infraestructura urbana existente que sirva de apoyo a la última milla es sobre todo un problema de localización, de condiciones operativas y restricciones para operar. A diferencia de los espacios construidos de cero, aquí la administración pública, los operadores privados o una asociación entre ambos que serán los que inviertan, no parten de una parcela vacía, sino de unas infraestructuras que ya existen y que tienen unas condiciones reales que ya les define. Digamos que estos son unos filtros de viabilidad que obligan a considerar la aptitud real de la infraestructura que se esté estudiando y unos criterios de preferencia para compararlas con otras candidatas.

El objetivo, aparte de minimizar un coste logístico, es lograr el mejor desempeño posible, y para eso se evaluará previamente la infraestructura para así saber si merece o no la pena reutilizarla y si no, cuál y dónde está la infraestructura real ideal para albergar una función logística.

Los criterios y las variables que pueden definir la idoneidad de una infraestructura son varios y la decisión final depende simultáneamente de múltiples factores. Por eso es adecuado recurrir a **métodos de análisis multicriterio** que permiten comparar, valorar y priorizar entre varias alternativas de una forma lógica, trazable y sobre todo puntuable, para poder estimar finalmente cuánto aporta cada variable a la infraestructura.

En los apartados siguientes se revisan los distintos métodos multicriterio disponibles según su enfoque y utilidad para el fin de valorar infraestructuras con fines logísticos.

#### **4.3.1 Establecimiento de Métodos de Análisis Multicriterio (MCDA) aplicables para valorar infraestructuras**

##### **Enfoques de descarte, viabilidad mínima y filtros eliminitorios**

Los filtros eliminitorios y las restricciones duras son clave para evaluar infraestructuras. En un primer paso general se debe descartar aquellas que no superen unas condiciones mínimas y que nunca podrían ser compensadas.

Esto se consideraría como un screening o filtro de restricciones duras (go/no-go) dentro del cuadro de los MCDA y evita de primeras que una infraestructura que NO es válida acabe siendo compensada por otros criterios y dándose por óptima, cuando de primeras no debería pasar a ser valorada.

La utilidad en la valoración será reducir el listado de infraestructuras a las verdaderamente valorables, antes de seguir aplicando criterios ponderables.

## **Métodos de análisis multicriterio para construir Índices de Idoneidad**

**M1 – SAW / WSM (Simple Additive Weighting / Weighted Sum Model):** El objetivo es obtener una suma ponderada de criterios normalizados mediante una combinación lineal.

Se convierten todos los criterios con los que se quiera valorar la infraestructura a una escala adimensional mediante normalización. Se le da un valor o peso a cada criterio según su importancia. El objetivo es lograr un índice final que consiste en la suma de todos los criterios normalizados por valor que se considere que tenga el criterio.

Es una herramienta muy útil en problemas de selección y priorización de alternativas, pero hay que interpretar bien los valores porque es un método compensatorio: un mal valor puede compensar otro muy alto al tratarse de una fórmula multiplicativa. Es bueno combinarlo con restricciones duras cuando valoran criterios de decisión sí o no (Apuntes Universidad Europea asignatura Modelos II, 2026)

**M2 – TOPSIS (Simple Additive Weighting / Weighted Sum Model):** Método basado en la distancia. Ordena las alternativas según la cercanía de alguna de estas a la solución ideal y una lejanía a la que menos ideal resulte.

Al igual que SAW, requiere una normalización consistente e interpreta valores por esas distancias al ideal. Es menos directa que SAW si tenemos muchos criterios con los que valorar. Es útil porque da soluciones más equilibradas en el conjunto, pero los criterios de valoración se reducen al mejor y al peor (Apuntes Universidad Europea asignatura Modelos II, 2026).

**M3 – VIKOR (método de Optimización y Solución de Compromiso):** También evalúa distancias. Mientras que TOPSIS mira la distancia euclídea (línea recta), VIKOR utiliza una métrica llamada la distancia Manhattan agregada (suma de diferencias absolutas entre coordenadas). Penaliza el peor criterio y se centra en no tener un criterio “letal”, que sea muy débil. Se reduce el riesgo de que una alternativa con un criterio muy malo o débil salga favorecida por compensación.

Es muy bueno si se quiere tener en cuenta una debilidad que afecta mucho pero no ponerle un filtro excesivo. La decisión es más compleja y hay que justificar con gran detalle cada decisión (Apuntes Universidad Europea asignatura Modelos II, 2026).

**M4 – COPRAS (*Complex Proportional Assessment*):** Es un método de puntuación directa como SAW, pero ese separa los criterios de beneficio y de coste. Es decir, evalúa por separado criterios a maximizar y a minimizar y combina resultados para darle proporcionalidad.

Es alternativa a SAW si se quiere mantener esa distinción entre coste y beneficio en el índice final (Apuntes Universidad Europea asignatura Modelos II, 2026).

**M5 – PROMETHEE (*Método de preferencia o Ranking Organization*):** Usa funciones de preferencia y flujos de separación para construir relaciones de preferencia entre alternativas de variables puntuables. En lugar de reducir todo a una suma, separa por preferencias.

Es bueno para modelar y comparar según las preferencias. Es más flexible que el resto de los métodos. Se pueden poner umbrales y funciones de preferencia según un criterio. Es una forma útil de valorar la subjetividad (Apuntes Universidad Europea asignatura Modelos II, 2026).

#### 4.3.2 Métodos para ponderar criterios

La estimación de pesos requiere de rigor técnico. Para poder dar un valor a cada variable de cada infraestructura, es importante asignar pesos de una manera objetiva y rigurosa.

Tras crear un algoritmo o una función de idoneidad con un Método de Análisis Multicriterio, ahora hay que lograr el resultado numérico de la función ponderado bien sus variables:

**C1 – AHP (*Analytic Hierarchy Process*):** Es un método subjetivo en que el encargado de ponderar y valorar las infraestructuras (Administración, Empresa Logística) asume y decide qué es más importante.

AHP compara por pares y permite comprobar la consistencia del juicio de valor. Es muy útil cuando el número de criterios o de variables evaluables es moderado y se quiere tener una trazabilidad buena y demostrable en la asignación de pesos. No es conveniente para valorar muchos criterios ya que el número de comparaciones crece rápidamente. Hasta un máximo de 5 o 6. Para infraestructuras es muy práctico para las variables locales numerosas y que son medibles.

AHP ayuda a dar un valor numérico a un criterio que no sabríamos como puntuar porque no es medible (Apuntes Universidad Europea asignatura Modelos II, 2026).

## **C2 – Métodos Objetivos o métodos de Entropía**

Aquí no se opina, es una matriz de decisión la que dice qué criterio aporta más información. La entropía da más peso a los criterios que tienen mayor variabilidad, es decir, que discriminan más.

Es útil cuando existe una matriz de datos amplia y se desea valorar con un criterio basado en la dispersión y que sea sistemático. Sin embargo, un criterio puede ser crítico, aunque su variación no sea mucha y en este caso, en la evaluación de infraestructuras podría emplearse como un complemento para contrastar criterios subjetivos, no como la base de la ponderación. Infravalora criterios que pueden ser críticos con baja variación (Apuntes Universidad Europea asignatura Modelos II, 2026).

## 5. Identificación de la necesidad

Una vez analizados los criterios evaluativos y se ha podido conocer la problemática de la última milla, sometida a limitaciones constantes de espacio por la escasez de suelo en las grandes ciudades donde la densidad de población hace que la convivencia entre la movilidad y ciudadanos deba ser cuidada al máximo. Además, la constante presión por parte de la administración que busca una movilidad más sostenible, con la reducción de gases contaminantes y un entorno urbano amable, hace que se impongan limitaciones a la movilidad de mercancías en la zona de última milla.

Todo esto sumado al interés por parte de la administración y los operadores logísticos de explotar el tramo de última milla de la manera más eficiente posible ha llevado a descubrir nuevas estrategias para mejorar la logística de distribución de mercancías en el tramo más crítico: el de la última milla. Se llega a la conclusión que el aprovechamiento de infraestructuras ya existentes que estén dentro de este tramo es una herramienta potencialmente útil para mejorar la calidad del reparto de mercancías, pero se encuentran carencias que aún no se han resuelto y que potenciarían el desarrollo de esta actividad.

La administración pública o el operador logístico privado que quiera valorar una infraestructura concreta se encuentra con una falta de criterios en la asignación de pesos específicos para valorar estas infraestructuras reutilizadas. No hay transparencia en este aspecto y no se encuentra una decisión unánime que pueda ser replicable para este fin.

Se tiene una dependencia de juicios expertos que no están formalizados y las ciudades no están de acuerdo entre sí de ninguna manera. Se echa en falta un marco metodológico adaptado a la lógica de la administración o los operadores logísticos para controlar y justificar esta reutilización de espacios, que sea trazable y manejable.

Estas limitaciones muestran la necesidad crear una metodología sistemática, transparente y reproducible que permita a las administraciones y a los operadores identificar, valorar, priorizar y comparar infraestructuras urbanas existentes con potencial logístico, y poder justificar técnicamente la decisión adoptada.

A partir de lo anterior, se introduce la parte analítica de este TFM, orientada a dar respuesta a esta pregunta:

**¿Cómo puede una administración u operador logístico evaluar, de manera estructurada y reproducible, si una infraestructura urbana existente es adecuada para desempeñar funciones logísticas de última milla, ya sea de forma permanente o temporal?**

## 6. Metodología

La falta de espacios de almacenamiento de mercancías en los centros urbanos implica uno de los mayores problemas a los que se puede enfrentar las empresas de distribución. Si no se refuerzan las operaciones de última milla los beneficios en las empresas de reparto pueden bajar hasta un 26 % (Capgemini Research Institute, 2019). Estas empresas de transporte padecen el aumento de los costes de operación por la dificultad de desplazarse y estacionar por el centro de la ciudad.

Adicionalmente a esto, el que estas empresas operen en núcleos urbanos, pero tengan sus espacios de almacenamiento en la periferia de la ciudad, alimenta aún más la problemática ya que la entrada y salida de la ciudad de una flota de vehículos, junto con los viajes no completados por la falta del cliente en el punto de entrega, obligan a repetir el trayecto. La consecuencia: un mayor impacto en el entorno urbano.

De aquí sale la idea de habilitar espacios en los núcleos de las ciudades para liberar este último tramo de la cadena de distribución de mercancías. La superficie logística en España ha crecido un 33% en los últimos 3 años y se calcula que la inversión en suelo para la construcción de espacios logísticos alcanzó los 649 millones de euros en el primer trimestre de 2024 (Centro Español de Logística & NTT DATA, 2024).

Ante falta de espacio sin urbanizar en los centros urbanos y, debido al constante aumento del precio del suelo en las grandes capitales que ha aumentado un 15,8% en la última década en España, estableciéndose en los 175,5 €/m<sup>2</sup> en 2025 (INE, 2025), se valora como alternativa de gran peso el aprovechamiento de infraestructuras ya existentes que sirvan para albergar una función logística en el reparto de las mercancías. Esto liberaría el transporte de mercancías en la ciudad y evitaría viajes innecesarios del centro a la periferia (Segura et al., 2020).

En este contexto, es necesario crear una metodología objetiva, trazable y reproducible para averiguar el potencial de infraestructuras urbanas. Una vez conocida la problemática toca estudiar cómo resolverla de la forma más eficiente posible. El principal reto es poder filtrar entre tantas infraestructuras que componen el espacio urbano y poder decidir cuál de ellas es la más adecuada para qué función.

La metodología que se desarrolla a continuación pretende agrupar las infraestructuras candidatas y evaluar a partir de criterios de idoneidad cuál de ellas es potencialmente más útil para albergar una funcionalidad determinada que libere la distribución y almacenamiento de mercancías en el tramo de última milla.

### 6.1 Estructura de la metodología

Este proceso se divide en un conjunto de 7 grandes FASES que resuelven una problemática individual y que avanzan en conjunto para llegar al objetivo final que es valorar una infraestructura según su idoneidad para albergar un uso logístico.

FASE 1 - ESTABLECIMIENTO DE UNOS REQUISITOS BÁSICOS: Se sientan las bases para saber qué ciudades y qué infraestructuras son analizables.

FASE 2 – SELECCIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS PARA LA METODOLOGÍA: Se establecen unas Tipologías de estudio. Qué actividad desarrollan las infraestructuras que se van a valorar. Se eligen las Infraestructuras.

FASE 3 - DEFINICION DEL SISTEMA DE VARIABLES: Las Variables son los atributos que definen las características de la Infraestructura a analizar. En esta Fase se describen

FASE 4 – CREACIÓN DE UNA NOMENCLATURA PARA IDENTIFICAR LAS VARIABLES: Para que sea más fácil identificarlas a la hora de llevarlas a un caso práctico, se define una nomenclatura corta y manejable para cada Variable de estudio.

FASE 5 - DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES PROPIAS DE CADA INFRAESTRUCTURA A EVALUAR: Catálogo de las Variables de Clase y Variables Locales que definen a las Infraestructuras de estudio.

FASE 6 - FORMULACIÓN DE LA FUNCIÓN DE IDONEIDAD: Se define la Función de Idoneidad que dará como resultado el valor de la infraestructura y se describen sus componentes.

FASE 7 – PONDERACIÓN DE VARIABLES: ESTIMACIÓN DE PESOS: Se describe como lograr puntuar cada infraestructura con las Variables que la definen

El objetivo final de esta secuencia de FASES es obtener la puntuación de la infraestructura que a partir del índice de Idoneidad, valor final resultado de dar valor a las Variables de cada Infraestructura.

A continuación, se presentan en Fases estructuradas y ordenadas por orden de ejecución, las etapas que deben seguirse para alcanzar el objetivo final de evaluar infraestructuras para su uso logístico en la última milla:

### **FASE 1-Establecimiento de unos requisitos básicos**

Hay zonas que no requieren de una actuación para mejorar su logística urbana de última milla. También hay espacios que nunca tendrían la posibilidad de desempeñar un uso logístico.

Antes de seleccionar las infraestructuras que puedan entrar en la metodología es primordial establecer un marco de actuación con criterios básicos para seleccionar en qué espacio de actuación centrarnos.

Parece un primer filtro de selección, pero realmente es una herramienta de descarte lógica para poder centrar la metodología en los nodos verdaderamente potenciales. Esto no constituye aún un criterio de evaluación ni un filtro dentro del proceso metodológico, sólo un primer nivel de encuadre.

No se pretende analizar todas las infraestructuras que formen parte de la ciudad, sino aquellas que realmente puedan ser funcionales en nuestro reto de última milla y se predispongan como candidatas potenciales antes de realizar el estudio.

¿A qué nodos urbanos podemos aplicar la metodología? ¿Qué infraestructuras pueden resultar analizables? A continuación, se explican unos criterios de actuación:

#### **C1- Que formen parte de un espacio urbano de alta densidad**

El primer requisito se lo lleva el espacio que ocupa, no la infraestructura en sí.

Se considera **centro urbano de alta densidad** al espacio urbano en el que, entre celdas contiguas de 1 km<sup>2</sup>, exista una densidad de población de al menos **1500 habitantes/km<sup>2</sup>** y una población mínima de **50000 habitantes** una vez rellenados los espacios vacíos (Eurostat, 2023).

Supondría completar este tablero con más de 1500 habitantes en cada una de sus celdas, sin dejar ningún espacio vacío, y que sumando todas las celdas de una población de > 50000 habitantes. Para centros de alta densidad, si el cuadrado central supera el umbral de densidad, sus superiores, inferiores o adyacentes al cuadrado central deben superar también dicho umbral. Esto es, 2, 4, 7, 5 deberían también tener > 1500 hab/ km<sup>2</sup>:

1	2	3
4		5
6	7	8

Ilustración 8 - Celdas de cuadrícula contiguas (Eurostat, 2023)

Por tanto, aquellas ciudades que estén densamente pobladas entrarían en nuestro estudio. Al final, la idea de este proceso es liberar el espacio urbano en áreas donde la logística urbana de última milla de verdad presente un conflicto.

### **C2- Que no tengan ya una funcionalidad logística**

Nos centramos en las infraestructuras. Es coherente que la metodología se aplique exclusivamente a infraestructuras urbanas cuyo uso principal no sea logístico.

Buscamos reutilizar infraestructuras que, de manera complementaria, puedan albergar otras actividades asociadas a la logística de última milla.

Por esto se excluyen del catálogo de la metodología aquellas que ya desempeñen una funcionalidad logística específica.

### **C3- Infraestructuras existentes y en funcionamiento**

Solo son evaluables las infraestructuras existentes y que estén en funcionamiento. De esta forma se puede ver que sus condiciones de espacio, operativas y regulatorias son observables y contrastables.

También se excluyen nuevas infraestructuras. El trabajo se encarga de identificar y evaluar las ya existentes.

## FASE 2- Selección de las infraestructuras para la metodología

Una vez establecido el primer análisis de viabilidad toca seleccionar las infraestructuras con las que trabajaremos y que serán objeto de estudio.

En esta fase de la metodología se van a seleccionar los tipos de infraestructuras que formarán parte en este proceso de selección de espacios donde albergar actividades logísticas de última milla.

Ahora hay que decidir cuáles. El tejido urbano está compuesto por infraestructuras de todo tipo, pero no todas tienen potencial suficiente como para albergar un uso logístico.

Partiendo de ejemplos de reutilización de infraestructuras para darle un fin logístico (Estado del Arte) se construye un catálogo estructurado de infraestructuras urbanas potencialmente compatibles con usos logísticos.

La decisión personal o el fundamentarse en otros casos es totalmente viable para esta metodología ya que lo que se pretende es buscar el potencial de las infraestructuras y su idoneidad para albergar usos logísticos. En caso de seleccionar una infraestructura a criterio personal sin fundamento teórico, será la propia herramienta que se está desarrollando la que lo apruebe o descarte.

A continuación, las infraestructuras que entran en esta metodología:

<b>T</b>	<b>Tipología</b>
1	Aparcamiento público
2	Aparcamiento privado
3	Estaciones de metro
4	Estaciones de tren
5	Intercambiadores de transporte
6	Mercados municipales
7	Equipamientos deportivos

*Tabla 6 - Tipologías de estudio*

### **FASE 3- Variables: definición del sistema de variables con las que evaluar las infraestructuras**

En esta fase se pretende caracterizar a cada una de las infraestructuras con variables según su funcionalidad. Se busca transformar el catálogo de infraestructuras en una herramienta de análisis multicriterio con la que no se valore la infraestructura en su conjunto si no los atributos que la caracterizan.

La intención es **valorar las infraestructuras** usando criterios que tengan que ver con su potencial como infraestructura dentro de la última milla. Estos criterios pueden ser positivos o negativos y sumar o restar validez al fin teórico del proyecto.

Estas **variables** son un conjunto de características relevantes que deberían o no tener/cumplir los espacios que sean caso de estudio si realmente quieren albergar la acogida de mercancías en la última milla. El fin es saber si las infraestructuras son válidas para albergar una función de potencial logístico.

No se va a evaluar la infraestructura en sí. Más bien hacerlo sobre las variables que las representan. Se quiere enfocar desde dos puntos de vista:

**1º Primero:** caracterizar las **condiciones generales** de cada infraestructura. Una vez las infraestructuras ya se han diferenciado por tipología, cada una de esas tipologías tendrá unas variables características que sean comunes a cada una.

**2º Segundo:** desglosar cada tipología e incidir en las infraestructuras reales, las que existen y están distribuidas por la ciudad, examinando sus **condiciones particulares**.

Para evitar mezclar “lo que es propio de la tipología” con “lo que depende del sitio concreto” en base a lo mencionado en el anterior apartado, se procede a la distinción explícita de variables. El objetivo de diferenciar entre variables es poder discriminar entre infraestructuras.

*Ejemplo: “como tipología, la infraestructura Tipo 1 es más apta que la infraestructura Tipo 2 para albergar un uso logístico”. En ese momento las Variables de Clase ya han actuado para averiguar qué función debe desempeñar cada Tipología. Una vez decidido que la infraestructura Tipo 1 es la idónea para albergar una función, entran en juego las Variables Locales: Estas nos ayudan a diferenciar entre las infraestructuras reales de cada tipo.*

Las variables con las que valoraremos nuestras infraestructuras serán de dos tipos: **variables de clase (VC)** y **variables locales (VL)**:

**VC. Variables de Clase**

Son las características propias de cada una de las tipologías a estudiar.

Sirven para medir la aptitud teórica de esa infraestructura. Es decir, si es válido que este Tipo de Infraestructura albergue función como soporte logístico a la última milla.

Se asignan una vez por tipología. Todos los elementos de esa misma tipología siempre tendrán esos atributos. Todos los elementos de Tipo 1, por ejemplo, tendrán la mismas Variables de Clase.

**VL. Variables Locales**

Son características asociadas a cada infraestructura en particular. Se atribuyen al emplazamiento concreto de cada elemento de la tipología. Y es que, por mucho que una tipología tenga unas características comunes, todas las infraestructuras son distintas entre sí.

Sirven para medir la viabilidad real. Una vez decidida qué tipología es la adecuada para albergar una función, hay que determinar cuál de las infraestructuras del mismo tipo que las componen es la que más se adapta a dicha función.

Se asignan infraestructura a infraestructura. Cada una según sus condiciones.

**FASE 4- Creación de una nomenclatura para identificar las variables**

En esta fase se va a establecer una nomenclatura para identificar cada variable según la tipología a la que pertenezca y para cada una las Variables Locales (VL) y Variables de Clase (VC):

**[Tipo]\_[Tipología]\_[Atributo]**

**Tipo:** si es Variable de Clase o Variable Local.

**Tipología:** código de 3 letras que identifica la tipología de infraestructura. Qué infraestructura se está evaluando.

**Atributo:** descripción abreviada del atributo evaluado. Qué característica de la infraestructura se está evaluando.

### FASE 5- Descripción de las variables propias de cada infraestructura a evaluar

En esta fase se describe cada una de las variables, tanto **Variable Local como Variable de Clase** que se han definido **para cada Tipología** que se pretende estudiar. Se muestra a continuación las variables que definen a las tipologías de estudio con la nomenclatura que las caracterice:

#### Variables de Clase (VC)

Para construir un índice Tipológico  $T_t$  que sea comparable entre tipologías se van a definir 5 Variables de Clase que sean comunes a cada una. De esta forma los criterios de valoración de las infraestructuras siempre serán los mismos y a la hora de compararlas se hará sobre la misma base:

- Para poder usar un vector de pesos único  $v_m$  y comparar entre tipologías, el conjunto de variables M debe ser el mismo para todas.
- No sería coherente ponderar una tipología  $T_t$  si a la hora de compararla con otra se ha utilizado unos criterios distintos. No tendría validez comparativa.

Por esto se definen 5 Variables de Clase (VC) genéricas que describen atributos típicos relevantes para la logística última milla y que pueden definir a una tipología. Estas son las 5 Variables de Clase (VC):

VARIABLE DE CLASE (VC)	DESCRIPCIÓN
<b>VC_ACC_GEN</b> Accesibilidad general del tipo de infraestructura	Esta variable evalúa la capacidad de una tipología de ser accesible para peatones y vehículos desde la red urbana. Considera la función dentro del sistema urbano y la conexión que tenga con las redes de movilidad.
<b>VC_FLUJOS</b> Intensidad de flujos urbanos asociados	Valora el nivel de concentración de flujos de vehículos, personas o de la actividad en sí que caracteriza a la tipología en cuestión. La logística de última milla se beneficia de las infraestructuras que estén integradas dentro de flujos urbanos.
<b>VC_VENT_HOR</b> Ventana operativa habitual. Horario de la infraestructura	Mide la franja operativa de la tipología, es decir, el horario o tiempo de servicio disponible para poder desarrollar las actividades logísticas de última milla.
<b>VC_FLEX_ESP</b> Flexibilidad y disponibilidad de espacio	Representa que la tipología disponga de espacios auxiliares y zonas de servicio que puedan albergar un uso logístico, así como la posibilidad de contar con áreas reprogramables. Estas áreas no deben comprometer la función principal de la infraestructura.
<b>VC_COMP_OPER</b> Compatibilidad para desarrollar la actividad y restricciones	Indica el nivel de restricciones típicas que pueda tener la infraestructura para realizar una actividad logística, como restricciones de seguridad, control o gobernanza.

Tabla 7 - Variables de Clase que definen la Tipología

### Variables Locales (VL)

Son descritas las condiciones específicas del emplazamiento de cada infraestructura en particular. Se divide el modelo en **dos conjuntos** según el papel que tengan en la función de idoneidad a definir:

**K:** son el conjunto de **condiciones mínimas** (filtros eliminatorios). Si este conjunto falla, la implantación de la infraestructura como función logística no debe seguir adelante.

**J:** las variables locales **puntuables**. Según el rendimiento. Puede ser mejor o peor.

Separando así las Variables Locales, se mantiene una coherencia entre viabilidad y calidad. Se definen las Variables Locales para cada infraestructura según su pertenencia a K o J:

Familia	Variable local	TIPO	Descripción
T1- Aparcamiento público	VL_APU_CompatibilidadNormativa	K	Cumplimiento de compatibilidad urbanística/uso secundario permitido.
	VL_APU_SeguridadPCI	K	Condiciones mínimas de seguridad y PCI para el uso propuesto.
	VL_APU_EspacioUtilizable	J	Existencia y magnitud de área efectiva utilizable para implantación.
	VL_APU_AccesoReparto	J	Acceso y maniobrabilidad real para operaciones de reparto.
	VL_APU_ProximidadDemanda	J	Cercanía a zonas de demanda logística (residencial/comercial).
T2- Aparcamiento privado	VL_APR_AcuerdoPropiedad	K	Viabilidad contractual/permiso del propietario o gestor.
	VL_APR_SeguridadPCI	K	Condición mínima de seguridad/PCI.
	VL_APR_EspacioUtilizable	J	Superficie o espacio utilizable efectivo.
	VL_APR_AccesoRodadoReal	J	Limitaciones reales de acceso (gálibos, rampas, entradas).
	VL_APR_ImpactoVecinal	J	Riesgo de conflicto social/operativo en entorno residencial.
T3- Estaciones de Metro	VL_MET_CumplimientoEvacuacion	K	No afectación a anchos/recorridos de evacuación.
	VL_MET_PClyNormativaSubteranea	K	Cumplimiento de requisitos específicos por entorno subterráneo y PCI.

	<b>VL_MET_ControlOperador</b>	<b>K</b>	Autorización/viabilidad institucional por parte del operador.
	<b>VL_MET_EspacioDisponibleVestibulo</b>	<b>J</b>	Espacio real en vestíbulo sin interferencia crítica.
	<b>VL_MET_AfluenciaPunta</b>	<b>J</b>	Intensidad de congestión en horas punta (condicionante operativo).
T4- Vestíbulos de Renfe	<b>VL_TREN_AutorizacionGestor</b>	<b>K</b>	Viabilidad institucional (gestor ferroviario).
	<b>VL_TREN_CompatibilidadSeguridad</b>	<b>K</b>	Compatibilidad con requisitos de seguridad y control de accesos.
	<b>VL_TREN_EspacioUtilizable</b>	<b>J</b>	Local/área disponible efectiva.
	<b>VL_TREN_AccesoMercancias</b>	<b>J</b>	Posibilidad de acceso de mercancías sin interferir flujos.
	<b>VL_TREN_AccesoMercancias (o Interferencia Flujos si lo mantienes separado)</b>	<b>J</b>	Condición operativa del acceso y su impacto.
T5- Intercambiadores de transporte	<b>VL_INT_CumplimientoNormativo</b>	<b>K</b>	Compatibilidad normativa de uso y condiciones del recinto.
	<b>VL_INT_PCI</b>	<b>K</b>	Condiciones mínimas de PCI y seguridad.
	<b>VL_INT_EspacioDisponible</b>	<b>J</b>	Espacio real disponible sin afectar operación.
	<b>VL_INT_InterferenciaFlujos</b>	<b>J</b>	Nivel de interferencia sobre flujos de viajeros.
	<b>VL_INT_AccesoRodado_Andenes</b>	<b>J</b>	Acceso operativo (rodado/andenes de servicio) según función.
T6- Mercados Municipales	<b>VL_MER_GestionMunicipalPermisos</b>	<b>K</b>	Permisos/viabilidad administrativa por gestión municipal.
	<b>VL_MER_CompatibilidadSanitaria</b>	<b>K</b>	Compatibilidad higiénico-sanitaria si aplica al uso propuesto.
	<b>VL_MER_MuelleCargaDescarga</b>	<b>J</b>	Existencia y condición del muelle/carga-descarga.
	<b>VL_MER_EspacioAlmacenamientoLibre</b>	<b>J</b>	Disponibilidad efectiva de almacenamiento.
	<b>VL_MER_AccesoVehiculoReparto</b>	<b>J</b>	Acceso real de vehículos de reparto y restricciones horarias/viarias.
T7- Equipamientos deportivos	<b>VL_DEP_SeguridadPCI</b>	<b>K</b>	Condición mínima de seguridad/PCI.

<b>VL_DEP_EspacioDisponible</b>	<b>J</b>	Espacio real utilizable.
<b>VL_DEP_EventosPunta</b>	<b>J</b>	Frecuencia de eventos/picos que limitan operación logística.
<b>VL_DEP_AccesoRodadoServicio</b>	<b>J</b>	Accesos de servicio/mantenimiento aptos para reparto.
<b>VL_DEP_EntornoSensibilidad</b>	<b>J</b>	Restricción por entorno (residencial, viario estrecho, sensibilidad).

*Tabla 8 -Variables Locales que definen la Infraestructura real*

Como resultado en esta FASE 5 se obtiene un conjunto de Variables de Clase (VC) comunes para obtener un índice comparable para cada Tipología  $T_t$  y un conjunto de Variables Locales (VL) diferenciado entre variables eliminatorias  $K$  y variables de puntuación  $J$ . En la fase 7 se ponderan los pesos para cada Variable para poder introducirlos en la Función de Idoneidad  $S_i$ , que se define en a continuación (FASE 6) y que tiene como resultado estimar el potencial de cada infraestructura para albergar una función logística.

### **FASE 6- Formulación de la función de idoneidad y estructura del modelo de evaluación**

Ya definidas las variables que caracterizan las infraestructuras de estudio, es necesario crear un sistema de evaluación con el que transformar esas características en un resultado que sirva para tomar una decisión en cuanto a la viabilidad de esta para albergar un uso logístico.

Para transformar esas variables y evaluar la capacidad de la infraestructura se crea una **Función de Idoneidad (S<sub>i</sub>)**. Esta función combina (primero) viabilidad, (segundo) aptitud tipológica y (tercero) viabilidad local, en ese orden coherente con la lógica del proceso.

La función que se adopta es una combinación multiplicativa en la que se combinan las variables de clase y locales que hemos definido, integradas mediante una función con pesos que se define más adelante, dando como resultado un puntaje de idoneidad. La función que se adopta es una combinación multiplicativa y se estructura en:

$$S_i = G_i \cdot T_{t(i)} \cdot L_i$$

Los componentes de la función son:

- Un Filtro de Viabilidad Mínima (**Pasa/ No Pasa**) **G<sub>i</sub>**
- Un índice de idoneidad derivado de un esquema multicriterio compuesto por:

Componente de tipología (**Variables de Clase, válido teóricamente**) **T<sub>t</sub>**

Componente local (**Variables Locales, viable en la realidad**) **L<sub>i</sub>**.

La idea es primero verificar si la infraestructura podrá operar con filtro pasa/no pasa y, si es afirmativo, calcular su potencial relativo a la logística urbana de última milla. Separando la función en esas componentes evitamos mezclar condiciones restrictivas con atributos favorables.

**El resultado:** La combinación de estos productos produce un índice global **S<sub>i</sub>**. Este índice será la puntuación final de la estructura en cuanto a su capacidad para albergar una función logística de última milla.

A continuación, se describe cada componente de la función y la forma en la que resulta un valor de cada una de ellas:

### **G<sub>i</sub>- Filtro de Viabilidad Mínima o Filtro Eliminatorio**

En primer lugar, se establece un conjunto de **restricciones eliminatorias** formuladas como variables locales binarias. Estas son las condiciones mínimas de viabilidad:

$$R_{ki} \in \{0,1\}$$

**i** identifica una infraestructura concreta

**k** representa cada condición mínima

Esta función se valoran las variables locales VL del tipo **K** (Condiciones mínimas). Las condiciones de viabilidad dependen del emplazamiento.

Se define una función de paso o "**Gating**" por eso se denomina **G<sub>i</sub>** que consiste en:

$$G_i = \prod R_{k,i}$$

**Esta función de K** es el producto del conjunto de restricciones eliminatorias que tenga la infraestructura.

- × Si alguna condición no se cumple **R<sub>k,i</sub>=0** , el producto se anula y **G<sub>i</sub>=0**, descartando la infraestructura del análisis de idoneidad.
- ✓ Si todas se cumplen **R<sub>k,i</sub>=1**, entonces **G<sub>i</sub>=1** y la infraestructura pasa al siguiente nivel del modelo.

De esta forma se crea una primera regla clara y es que sólo las infraestructuras que puedan implementarse para uso logístico puntúan y dan valor a la función de idoneidad.

## **T<sub>t</sub> - Índice Tipológico**

Aquí se va a dar valor a las Variables de Clase (VC). Establecido el primer filtro de condiciones mínimas, en este paso se va a valorar la contribución de la tipología a la idoneidad.

Se define un índice tipológico **T<sub>t</sub>** constante para una de las tipologías que se quieran entrar a valorar en el modelo. Este índice está construido por las Variables de Clase con los atributos ya definidos de la función urbana de la tipología.

Las Variables de Clase VC se van a transformar a una escala comparable mediante normalización a [0,1] y se obtiene **VC'<sub>m,t</sub>**

El índice tipológico se formula **mediante el método de suma ponderada SAW (Simple Additive Weighting)**. Se elige este método multicriterio porque permite seleccionar la mejor alternativa entre un conjunto de opciones mediante la ponderación y suma de los valores normalizados de sus atributos.

Este método compensa los criterios que se valoren. Un criterio alto compensa otro más bajo.

$$T_t = \sum_{m \in M} v_m \cdot VC'_{mt}$$

Índice tipológico **T<sub>t</sub>** = suma de (peso del criterio **m** × valor de la tipología en ese criterio **VC'<sub>m,t</sub>**).

Se obtiene un índice **T<sub>t</sub>** para cada tipología.

- **t** = la tipología. Si nos fijamos en la Nomenclatura es **[Tipología]**
- $\sum_{m \in M}$  = es la suma de la aportación de cada Variable de Clase (VC) que pertenece al conjunto de Variables de Clase de la Tipología que se esté valorando.
  - M= Conjunto de 5 Variables de Clase (VC)
  - m = Valor de Cada una de las Variables de Clase.
- **v<sub>m</sub>** = peso de cada criterio **m** para una tipología. **Según lo crucial que sea un criterio para la última milla, tendrá un valor u otro. Se obtiene mediante el método de ponderación multicriterio AHP. Se explica en FASE 7.**
- **VC'<sub>m,t</sub>** = es el valor normalizado (0 -1) de cada uno de esos criterios **m** de las VC de cada tipología **t**. **Ya definida la importancia de esa variable se evalúa qué potencial tiene cuando se desarrolla “No todas las tipologías tienen el mismo potencial para un criterio logístico”**

## **$L_i$ - Índice local**

Se va a evaluar la **viabilidad y calidad del emplazamiento**. En este caso se evalúa la **viabilidad real** de cada infraestructura concreta mediante el índice local  $L_i$  construido a partir de las **Variables Locales (VL)**.

El índice local  $L_i$  es constante para cada infraestructura concreta (no valora por tipología), y se construye a partir de las Variables Locales VL que describen las condiciones reales del emplazamiento.

El índice  $L_i$  sí discrimina entre infraestructuras de la misma tipología.

De nuevo se usa el **método SAW de suma ponderada**. En este caso está aplicado a las Variables Locales. El valor de  $L_i$  representa cómo de favorable es la infraestructura para albergar un uso logístico y se puntúa entre 0 y 1 según su calidad:

$$L_i = \sum_{j \in J} \omega_j \cdot VL_{ji}'$$

→  $i$  = es la infraestructura real que se está valorando

→  $\sum_{j \in J}$  = Suma de cada Variable Local de cada infraestructura.

$J$  = El conjunto de las Variables Locales puntuables

$j$  = Cada una de las que se puntúa

→  $\omega_j$  = peso de la Variable Local  $j$ . “Valor otorgado a cada criterio VL según necesidad”. Según lo crucial que sea un criterio local para la implantación, tendrá uno u otro valor. Este criterio se pondera mediante el método SWING (Swing Weighting). La suma de criterios para cada tipología debe ser 1.

→  $VL_{j,i}'$  = es el valor normalizado de la Variable Local de cada infraestructura  $i$ . Cuando ya se ha definido la importancia de esa variable, se evalúa el comportamiento real del emplazamiento (“no todos los emplazamientos tienen las mismas condiciones”).

### FASE 7- Ponderación de variables: estimación de pesos

Ya definida la función de idoneidad  $S_i$  y descritas las Variables de Clase, comunes para cada tipología y las Variables Locales separadas en K y J (Restrictivas y Ponderables), el siguiente paso dar valor a los pesos que determinan cuánto contribuye cada variable al modelo que define la idoneidad de la infraestructura.

Transformar las variables en un sistema de evaluación convierte estas variables de un atributo informativo a una herramienta de pesos que otorga importancia a la toma de decisión. Para evitar ponderaciones arbitrarias y que el modelo de evaluación final tenga un criterio técnico y sea defendible, se van a combinar dos sistemas de ponderación. Lo defino como un sistema “híbrido” de dos métodos:

**AHP:** Son las siglas de “Analytic Hierarchy Process”. Mediante este método se estimarán los pesos de las **Variables de Clase**  $\{v_m\}$ . El método AHP trabaja con un conjunto de 5 criterios comunes ( $M=5$ ) y es posible verificar la coherencia del juicio mediante consistencia.

**SWING:** Definición de “Swing Weighting” método con el que se estimarán los pesos de las **Variables Locales (Las ponderables J) puntuables**  $\{w_j\}$ . Estas variables definen las condiciones de cada infraestructura real y valoran sus cualidades para operar una actividad logística.

#### Variables de Clase: Ponderación mediante AHP

Con esta ponderación se obtendrá  $T_t$  el Índice Tipológico. En esta metodología las Variables de Clase son 5 ( $VM=5$ ) y son comunes para todas las tipologías. Con estas variables se monta una matriz de comparación por pares que permite cuantificar preferencias.

Los pesos se normalizan para que la suma sea unidad:

$$\sum_{m \in M} v_m = 1$$

El conjunto de 5 criterios que se incluyen en AHP se definió en la **FASE 5 Descripción de las Variables propias de cada Infraestructura a evaluar**. El procedimiento para desarrollar AHP y valorar estas Variables de Clase es el siguiente:

### 1º Comparación de criterios con AHP según la escala fundamental de Saaty

Se comparan las Variables de Clase entre sí en cuanto a cuál de ellas tiene más importancia para la Tipología de estudio. La pregunta que se responde con este 1 vs 1 es ¿Cuánto más importante es Variable de Clase 1 que Variable de Clase 2? Se comparan todas entre todas.

A continuación, se muestran la comparación 1 vs 1 de las 5 Variables de Clase: **A**

VARIABLE DE CLASE 1	Vs	VARIABLE DE CLASE 2
ACCESIBILIDAD	Vs	FLUJOS
ACCESIBILIDAD		HORARIOS
ACCESIBILIDAD		FLEXIBILIDAD
ACCESIBILIDAD		COMPATIBILIDAD
FLUJOS		HORARIOS
FLUJOS		FLEXIBILIDAD
FLUJOS		COMPATIBILIDAD
HORARIO		FLEXIBILIDAD
HORARIO		COMPATIBILIDAD
FLEXIBILIDAD		COMPATIBILIDAD

Tabla 9 - Comparación de Variables de Clase VC

El valor que se le da a la comparación de estos criterios se construye según la escala fundamental de Saaty (Tabla 10).

Escala fundamental de Saaty		
VALOR	DEFINICIÓN	COMENTARIOS
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre el B
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente el criterio A sobre el B
7	Importancia muy grande	El criterio A es mucho más importante que el B
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre el B está fuera de toda duda
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores, cuando es necesario matizar	

Tabla 10 - Escala fundamental de comparación por pares (Saaty, 1980)

El resultado de cada comparación es el siguiente:

Si decido que Variable de Clase 1 es más importante que Variable de Clase 2, puntúo numéricamente cuánto más importante es según la escala de Saaty.

Si Variable de Clase 2 es más importante que Variable de Clase 1, doy el inverso:  $\frac{1}{\text{Valor de Saaty}}$

Si Variable de Clase 1 es igual de importante que Variable de Clase 2, doy un valor de 1.

Para una tipología concreta, AHP requiere 10 comparaciones: Se tienen 5 criterios y a cada uno de ellos le corresponde 4 comparaciones. Eso es un total de 20 comparaciones, pero como es lo mismo comparar VC 1 vs VC 2 que VC 2 vs VC 1 resumimos en un total de 10 los criterios comparados. A partir de las comparaciones de Variables de Clase se monta la matriz A.

## 2º Construcción de la Matriz A

Con los valores comparativos entre variables se construye la matriz A de comparación por pares:

$$A = \begin{array}{c} \\ \begin{array}{ccccc} & \mathbf{ACC} & \mathbf{FLU} & \mathbf{HOR} & \mathbf{FLEX} & \mathbf{COMP} \\ \mathbf{ACC} & 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ \mathbf{FLU} & 1/a_{12} & 1 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ \mathbf{HOR} & 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & a_{34} & a_{35} \\ \mathbf{FLEX} & 1/a_{14} & 1/a_{24} & 1/a_{34} & 1 & a_{45} \\ \mathbf{COMP} & 1/a_{15} & 1/a_{25} & 1/a_{35} & 1/a_{45} & 1 \end{array} \end{array}$$

## 3º Normalización de la Matriz A y obtención del vector v

Para obtener pesos se debe normalizar. En primer lugar, se suman las columnas de la Matriz A:

$$\sum \text{col}(\text{ACC}) = 1 + \frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{13}} + \frac{1}{a_{14}} + \frac{1}{a_{15}} = S_{\text{ACC}}$$

$$\sum \text{col}(\text{FLU}) = a_{12} + 1 + \frac{1}{a_{23}} + \frac{1}{a_{24}} + \frac{1}{a_{25}} = S_{\text{FLU}}$$

$$\sum \text{col}(\text{HOR}) = a_{13} + a_{23} + 1 + \frac{1}{a_{34}} + \frac{1}{a_{35}} = S_{\text{HOR}}$$

$$\sum \text{col}(\text{FLEX}) = a_{14} + a_{24} + a_{34} + 1 + \frac{1}{a_{45}} = S_{\text{FLEX}}$$

$$\sum \text{col}(\text{COMP}) = a_{15} + a_{25} + a_{35} + a_{45} + 1 = S_{\text{COMP}}$$

Se normaliza por columnas y se divide cada elemento de la matriz A entre el sumatorio de sus columnas. Se obtiene la matriz A':

$$A' = \begin{array}{c} \\ \begin{array}{ccccc} & \mathbf{ACC} & \mathbf{FLU} & \mathbf{HOR} & \mathbf{FLEX} & \mathbf{COMP} \\ \mathbf{ACC} & 1/S_{\text{ACC}} & a_{12}/S_{\text{FLU}} & (a_{13})/S_{\text{HOR}} & (a_{14})/S_{\text{FLEX}} & (a_{15})/S_{\text{COMP}} \\ \mathbf{FLU} & \left(\frac{1}{a_{12}}\right)/S_{\text{ACC}} & 1/S_{\text{FLU}} & (a_{23})/S_{\text{HOR}} & (a_{24})/S_{\text{FLEX}} & (a_{25})/S_{\text{COMP}} \\ \mathbf{HOR} & \left(\frac{1}{a_{13}}\right)/S_{\text{ACC}} & \left(\frac{1}{a_{23}}\right)/S_{\text{FLU}} & (1)/S_{\text{HOR}} & (a_{34})/S_{\text{FLEX}} & (a_{35})/S_{\text{COMP}} \\ \mathbf{FLEX} & \left(\frac{1}{a_{14}}\right)/S_{\text{ACC}} & \left(\frac{1}{a_{24}}\right)/S_{\text{FLU}} & \left(\frac{1}{a_{34}}\right)/S_{\text{HOR}} & (1)/S_{\text{FLEX}} & (a_{45})/S_{\text{COMP}} \\ \mathbf{COMP} & \left(\frac{1}{a_{15}}\right)/S_{\text{ACC}} & \left(\frac{1}{a_{25}}\right)/S_{\text{FLU}} & \left(\frac{1}{a_{35}}\right)/S_{\text{HOR}} & \left(\frac{1}{a_{45}}\right)/S_{\text{FLEX}} & 1/S_{\text{COMP}} \end{array} \end{array}$$

De la matriz A' se obtiene el vector v como la media de cada fila. La suma de los componentes del vector v debe ser 1. Se obtiene así el vector v:

$$\begin{aligned}
 v_{ACC} &= \frac{\sum \text{FILA}(\text{ACC})}{5} \\
 v_{FLU} &= \frac{\sum \text{FILA}(\text{FLU})}{5} \\
 \text{Vector } v &= v_{HOR} = \frac{\sum \text{FILA}(\text{HOR})}{5} \\
 v_{FLEX} &= \frac{\sum \text{FILA}(\text{FLEX})}{5} \\
 v_{COMP} &= \frac{\sum \text{FILA}(\text{COMP})}{5}
 \end{aligned}$$

#### 4º Asignar los valores normalizados de $VC_{m,t}$

Como se indica en la FASE 7 en el apartado 4º de las Variables de Clase. Para cada una de las 5 Variables de Clase de cada tipología se le asignará un valor (Clase) en función de cuánto cumpla cada criterio según la infraestructura. Es decir, cuánto de importante es cada Variable de Clase en cada infraestructura.

VARIABLE DE CLASE (VC)		$VC_{m,t}$ : ¿Cuánto valor tiene la VC en esta Tipología?
VC1	VC_ACC_GEN	0 - 0,25 - 0,50 - 0,75 - 1,00
VC2	VC_FLUJOS	0 - 0,25 - 0,50 - 0,75 - 1,00
VC3	VC_VENT_HOR	0 - 0,25 - 0,50 - 0,75 - 1,00
VC4	VC_FLEX_ESP	0 - 0,25 - 0,50 - 0,75 - 1,00
VC5	VC_COMP_OPER	0 - 0,25 - 0,50 - 0,75 - 1,00

Tabla 11 - Valor de las Variables de Clase

#### 5º Cálculo de $T_t$

Es el resultado final. Se obtiene  $T_t$  como el resultado numérico del potencial que tiene la Tipología de estudio para albergar una actividad logística de última milla.

Es la suma del producto del vector  $v$  que caracterizaba el peso de cada Variable de Clase por el valor normalizado  $VC_{m,t}$  para las 5 variables de la tipología:

$$T_t (T_{1-5}) = \sum v_m \cdot VC_{m,t} = v^*V_{1m,t} + v^*V_{2m,t} + v^*V_{3m,t} + v^*V_{4m,t} + v^*V_{5m,t}$$

### **Variables Locales: Ponderación mediante SWING**

En este caso y con la ponderación mediante SWING se obtendrá  $L_i$ , el Índice Local, que da información sobre la viabilidad real y la calidad del emplazamiento concreto. Las Variables de Clase eran comunes para el conjunto de tipologías de estudio, pero las Variables Locales (VL) se va a asignar infraestructura a infraestructura. Son las que permiten discriminar entre elementos de una misma tipología.

Como se ha definido en la FASE 5 las Variables Locales se han dividido en dos conjuntos:  $K$  para las Variables Locales eliminatorias y  $J$  para las Variables Locales que puntúan según mejor o peor cualidad del atributo.

La ponderación mediante SWING se aplica únicamente para el conjunto  $J$  de Variables Locales puntuables. Las Variables Locales  $K$  que son eliminatorias se aplican antes en  $G_i$  Filtro de Viabilidad Mínima de la Función de Idoneidad  $S_i$

#### **1º Definir el conjunto de Variables Locales puntuables $J$**

Se procede a valorar las Variables Locales  $J$  puntuables y aquellas Variables Locales  $K$  que hayan pasado por el filtro  $G_i$  y haya resultado  $G_i = 1$  lo que supone que no se eliminan y entran a puntuarse con el conjunto  $J$ .

#### **2º Establecer el escenario de referencia: Peor Caso Operativo**

En SWING se parte de la base que todas las infraestructuras cuyas Variables Locales han superado el filtro  $G_i$  y por tanto sean Viabiles, esas infraestructuras se encuentran en las condiciones más desfavorables posibles respecto a las variables puntuables  $J$

Este sería el escenario del que partir como punto de salida para valorar todas las Variables.

#### **3º Buscar la Variable con más puntuación: Mayor salto de mejora**

Este salto de mejora mide cuánto mejora la idoneidad local si llevas una sola variable desde ese peor caso hasta su mejor caso, manteniendo las otras dos todavía en el peor caso Detectar la variable que más calidad aporta a la infraestructura.

Si la mejora de cierta actividad (Variable Local) cambia mucho la operatividad de la infraestructura para ejercer la Última Milla, el swing o salto será el mayor. Es decir, mide la Variable con más potencial para la Infraestructura.

Se toma esa variable de más importancia y se adopta como referente y se le atribuye la máxima puntuación posible del conjunto de variables posibles de la tipología.

#### 4º Dar puntuaciones relativas al resto de variables de J

Se puntúan el resto de las variables según lo que mejoren con respecto a la variable de referencia. Cuanto más aporte a la infraestructura, más cercana será su puntuación a la de la variable con mayor puntuación. Igual procedimiento para las de menor puntuación. Con esto obtendremos un conjunto de puntuaciones para todas las variables. Con todas estas variables se crea el vector de puntuaciones  $S_j$ .

#### 5º Normalización del vector de puntuaciones y obtención del vector de pesos

Se normaliza el vector de puntuaciones de las variables  $S_j$  convirtiéndolo en vector de pesos normalizados  $w_j$  dividiendo cada puntuación por la suma total:

$$w_j = s_j / \sum_{j \in J} s_j$$

Se obtiene el vector de pesos  $w$  en el que cada  $w_j$  representa la importancia de cada variable local. La suma de todas las  $w_j$  debe ser 1.

Se obtiene un vector de pesos  $w$  para entrar en el Índice Local  $L_i$ .

#### 6º Calcular el Índice Local $L_i$

Igual que para las Variables de Clase, a partir de los pesos locales  $w_j$  y mediante SAW se calcula el Índice Local mediante la suma ponderada de las Variables Locales normalizadas  $VL_{j,i}$ .

$$L_i = \sum_{j \in J} w_j \cdot VL_{j,i}$$

Al concluir esta FASE 7 se ha mostrado cómo obtener los dos conjuntos de pesos normalizados  $v_m$  y  $w_j$  para el cálculo de  $T_t$  y  $L_i$ . También se ha definido cómo aplicar el filtro  $G_i$ .

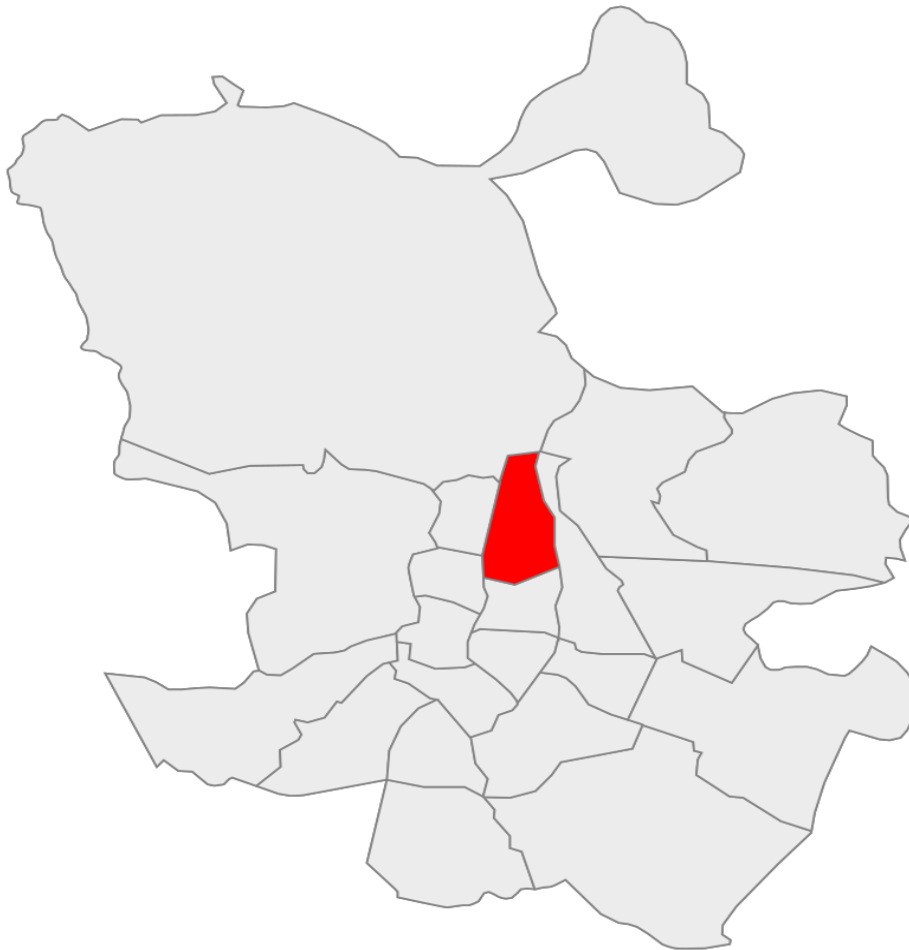
Con el modelo ponderado y definidos todos los componentes de la función de idoneidad  $S_i$  ya podemos puntuar cada infraestructura según su idoneidad para albergar una actividad logística en la última milla.

## 7. Caso de estudio: Aplicación a la ciudad de Madrid, Distrito de Chamartín

Para aplicar la metodología que se ha desarrollado a un caso real y evaluar los resultados, en este capítulo se sigue las directrices de lo establecido en el capítulo anterior (6. Metodología). En este capítulo se va a evaluar la idoneidad de infraestructuras reales de estudio en cuanto a su funcionalidad para albergar una actividad logística de última milla.

Se ha seleccionado Madrid como ámbito de estudio y se ha acotado a un distrito de la propia ciudad para poder desarrollar la metodología de una forma más manejable.

Se van a analizar las infraestructuras que se encuentren en el distrito de **Chamartín**. Este distrito en concreto está ubicado en una posición estratégica dentro del área central de Madrid, en el borde del núcleo con más densidad urbana que es el distrito Centro. Su ubicación en el borde de esta zona periurbana hace que las actividades que desarrollan puedan nutrir tanto al centro como a un área más alejada y menos saturada urbanísticamente.



*Ilustración 9 - Ubicación del distrito de Chamartín en rojo.*

El distrito de Chamartín tiene un gran potencial en el contexto de logística de última Milla. Es una zona ampliamente residencial, pero que convive con muchas zonas de usos terciarios y

comerciales. Hay muchos locales de servicio al público, tiendas de todo tipo, zonas de restauración y espacios lúdicos.

Todos estos servicios aumentan la demanda de consumo, distribución y de logística inversa. Además, reúne dentro de sus límites todas las infraestructuras que vamos a analizar en esta metodología. Esto permite desarrollar un modelo amplio con candidatos potenciales a albergar una actividad logística y plantear una comparación entre las infraestructuras de estudio. Definido el ámbito de estudio, se desarrolla este caso práctico con un inventario de Infraestructuras potenciales.

El inventario que se desarrolla en este caso práctico es una selección del conjunto de infraestructuras que existen en Chamartín. A efectos didácticos, esta reducción pretende mostrar cómo funciona la herramienta y permite comparar infraestructuras de la misma o de diferente tipología entre sí. La metodología creada no limita el número de elementos a analizar. Puede aplicarse a la totalidad de infraestructuras de una ciudad o a un conjunto definido por la administración u operador logístico según sus necesidades:

<b>INVENTARIADO DE LAS INFRAESTRUCTURAS REALES A ESTUDIAR</b>		
<b>TIPOLOGÍA DE INFRAESTRUCTURA</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>DIRECCIÓN</b>
<b>T1- Aparcamiento Público</b> Se eligen 3 aparcamientos públicos del distrito de Chamartín para este caso de estudio, de forma que el listado de infraestructuras de este mismo tipo a analizar sea más manejable y no demasiado extenso	<b>T1.1 Aparcamiento de María de Molina</b>	Calle María de Molina 27
	<b>T1.2 Aparcamiento General Gallegos</b>	Calle del Padre Damián, 39
	<b>T1.3 Aparcamiento Santo Domingo de Silos</b>	Calle de Santo Domingo de Silos, 2
<b>T2- Aparcamiento Privado</b>	<b>T2.1 Aparcamiento EMT Nuestra Señora del Recuerdo</b>	Calle de la Hiedra, 26
<b>T3- Estaciones de Metro</b> Se eligen 2 estaciones de Metro del distrito de Chamartín para este caso de estudio, de forma que el listado de infraestructuras de este mismo tipo a analizar sea más manejable y no demasiado extenso.	<b>T3.1 Santiago Bernabéu</b>	Paseo de la Castellana, 97
	<b>T3.2 Nuevos Ministerios</b>	Paseo de la Castellana, 65
<b>T4- Estaciones de tren</b>	<b>T4.1 Estación de Chamartín</b>	Calle Agustín de Foxá
<b>T5- Intercambiadores de transporte</b>	<b>T5.1 Intercambiador de Plaza Castilla</b>	Paseo de la Castellana 195
<b>T6- Mercados municipales</b>	<b>T6.1 Mercado Municipal Chamartín</b>	Calle de Bolivia, 9
	<b>T6.2 Mercado Municipal de San Cristóbal</b>	Calle de Torralba, 11
<b>T7- Equipamientos deportivos</b>	<b>T7.1 Centro Deportivo Municipal Pradillo</b>	Calle de Pradillo, 33
	<b>T7.2 Centro Deportivo Municipal Chamartín</b>	Avenida de Pío XII, 2

Tabla 12 - Infraestructuras reales a estudiar

Para desarrollar caso de estudio sirve de apoyo el uso del programa **ArcMap v10.4.1** con el que se georreferencia y representan las infraestructuras del inventario y en que se asocia a cada elemento de estudio con sus características, atributos y los resultados finales. El uso de esta herramienta hace que la información quede reflejada en plano y se pueda consultar fácilmente conociendo la ubicación del sitio. El procedimiento para evaluar las Infraestructuras del catálogo que se representan en el mapa dentro del Distrito de Chamartín se va a estructurar en Etapas que son coherentes a lo descrito en el apartado de Metodología y que buscan desarrollar la Función de Idoneidad  $S_i$ .

En una Primera Etapa se va a estimar la Idoneidad Tipológica de cada Tipología  $T_t$  a partir de las Variables de Clase (VC) obteniendo finalmente un valor comparable entre estas Tipologías según su potencial para desempeñar las funciones logísticas de última milla. Estas son las tipologías para estudiar:

T	Tipología
1	Aparcamiento público
2	Aparcamiento privado
3	Estaciones de metro
4	Estaciones de tren
5	Intercambiadores de transporte
6	Mercados municipales
7	Equipamientos deportivos

Tabla 13 - Tipologías de estudio

Y estas son las Variables de Clase que las definen:

VARIABLE DE CLASE (VC)		Descripción
VC1	VC_ACC_GEN	Accesibilidad general del tipo de infraestructura
VC2	VC_FLUJOS	Intensidad de Flujos Urbanos Asociados
VC3	VC_VENT_HOR	Ventana operativa habitual. Horario de la infraestructura.
VC4	VC_FLEX_ESP	Flexibilidad y disponibilidad de espacio
VC5	VC_COMP_OPER	Compatibilidad para desarrollar la actividad y restricciones.

Tabla 14 - Variables de clase VC

En una Segunda Etapa se va a evaluar la viabilidad y la calidad de la Infraestructura Real, que pertenece a una Tipología concreta, mediante las Variables Locales (VL) que la definen. La infraestructura pasa por un filtro eliminador  $G_i$  que representa si la es evaluable o no y puede ser puntuada. Una vez definidas las evaluables, se obtiene el índice Local  $L_i$  de cada una, que la puntúa como independiente y define su potencial con las Variables de Clase (Tabla 7).

Finalmente, estos elementos índices que definen el potencial de la Tipología y de la infraestructura real en caso de que haya superado el filtro eliminador, se integran en La **Función de Idoneidad Final:  $S_i = G_i * T_t * L_i$**  que será el resultado principal del caso de estudio y sirve como base en la priorización de las infraestructuras que han sido candidatas.

Una vez introducido cómo va a ser el marco de este caso de estudio, definido el listado de infraestructuras candidatas, las Variables de Clase y Variables Locales se procede a desarrollar el caso de estudio en un orden secuencial, según la teoría del apartado **6. Metodología:**

En un primer lugar, se valora la Tipología, obteniendo como resultado el Índice Tipológico  $T_t$  de cada una de las 7 Tipologías definidas para este estudio (Tabla 13).

A continuación, y una vez valorado el potencial tipológico, se evalúa si las infraestructuras reales de estudio (Tabla 12) son viables para adoptar un uso logístico, dando valor a  $G_i = 0/1$ .

De todas aquellas que pasen el filtro, se evalúa su potencial mediante las Variables Locales y dando como resultado el Índice Local individual  $L_i$ .

Para finalizar el proceso y obtener un resultado, integramos lo obtenido en la Función de Idoneidad  $S_i$  (FASE 3).

### **FASE 1- Índice tipológico $T_t$**

En esta fase se van a ponderar las Variables de Clase (VC) de cada Tipología para obtener el Índice Tipológico  $T_t$  con el que entrar en la Función de Idoneidad  $S_i$ .

El Índice Tipológico  $T_t$  es común para todas las infraestructuras reales de una misma Tipología y representa el potencial que tiene una tipología para desarrollar una actividad logística en la última milla. El Índice Tipológico es el resultado de ponderar las 5 Variables de Clase comunes a cada Tipología según las virtudes o defectos que tenga cada una. Al utilizar las mismas Variables para cada Tipología y construirse  $T_t$  con el mismo criterio, permite comparar las 7 tipologías de estudio entre sí.

Estas son las 5 Variables de Clase comunes, que ya se han definido en la FASE 5:

**ACC:** Accesibilidad general (VC\_ACC\_GEN)

**FLU:** Intensidad de flujos urbanos (VC\_FLUJOS)

**HOR:** Ventana operativa / horario (VC\_VENT\_HOR)

**FLEX:** Flexibilidad y disponibilidad de espacio (VC\_FLEX\_ESP)

**COMP:** Compatibilidad operativa / restricciones (VC\_COMP\_OPER)

Se aplica una ponderación mediante el método AHP para estimar los pesos de las cinco Variables de Clase comunes del modelo, de cada Tipología que se ha definido para este Caso de Estudio. En la FASE 6 de la Metodología se explica cómo llegar a  $T_t$  resultado del producto de estos valores:

$$T_t = \sum v_m \cdot VC'_{m,t}$$

Se explica en la FASE 7 de la metodología los pasos para ponderar las Variables de Clase VC hasta llegar al índice Tipológico  $T_t$  con el que puntuar cada tipología de infraestructuras según su potencial logístico, mediante la ponderación con el Método Multicriterio AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

**Los Cálculos realizados para la obtención de estos valores de  $T_t$  se incluyen en el ANEJO 1- Anejo de Cálculos.**

Se muestran a continuación los resultados de  $T_t$  para las 7 Tipologías que forman parte de este Caso de Estudio de análisis de infraestructuras existentes en la Ciudad de Madrid, en concreto en el distrito de Chamartín.

<b>T</b>	<b>Tipología</b>	<b>Índice Tipológico <math>T_t</math></b>
<b>1</b>	Aparcamiento público	<b>0,6063</b>
<b>2</b>	Aparcamiento privado	<b>0,5179</b>
<b>3</b>	Estaciones de metro	<b>0,6352</b>
<b>4</b>	Estaciones de tren	<b>0,7984</b>
<b>5</b>	Intercambiadores de transporte	<b>0,6499</b>
<b>6</b>	Mercados municipales	<b>0,8960</b>
<b>7</b>	Equipamientos deportivos	<b>0,5977</b>

*Tabla 15 - Índice tipológico  $T_t$  definitivo*

Los resultados del Índice Tipológico  $T_t$  son coherentes con las aptitudes que demuestra cada Tipología. La que cuentan con espacios auxiliares, zonas de carga descarga y facilidad para el acceso rodado tiene más puntuación (mercados municipales o estaciones de tren. En cambio, aquellas cuyo uso principal no está mínimamente ligado a la gestión de mercancías se ven penalizadas por el resultado. Este es el caso de los Equipamientos deportivos, que también resulta en un índice Tipológico bajo por los condicionantes de convivencia o posibles restricciones de uso.

Será el índice Local  $L_i$  quien decida el potencial final de cada emplazamiento. Aunque se parta de un Índice Tipológico elevado, si las condiciones reales no son favorables, la idoneidad en la infraestructura para albergar un uso logístico en la Última Milla resultará baja.

Este proceso es replicable para cualquier otra ciudad y para cualquier tipología que cumpla unos requisitos mínimos (como se indica en este TFM en el apartado 6. Metodología; 6.2 Pasos para la resolución de la metodología; FASE 1: Establecimiento de unos requisitos básicos)

Este valor  $T_t$  se incluirá en la Función de Idoneidad Si como componente tipológica para obtener el objetivo final de este TFM que es valorar infraestructuras concretas. En el apartado siguiente (FASE 2) se obtienen los resultados del análisis de las Infraestructuras Reales seleccionadas para el caso de estudio (Tabla 12).

## FASE 2- Índice local $L_i$

Una vez definido el índice Tipológico  $T_t$  para cada Tipología, el siguiente paso es definir el Índice Local  $L_i$  para cada Infraestructura Real. Se va a construir  $G_i$  y  $L_i$  para cada uno de los elementos del Listado de Infraestructuras Reales que se define a continuación para la zona de estudio del distrito de Chamartín (Madrid). En el mapa se muestran todas las infraestructuras con potencial de ser analizadas para este Caso de Estudio. Corresponden a aquellas Infraestructuras Reales que pertenecen a alguna de las 7 Tipologías de estudio. Como ya se ha indicado se estudiarán una selección del conjunto total, las definidas en la Tabla 12 que se desarrolla a continuación.

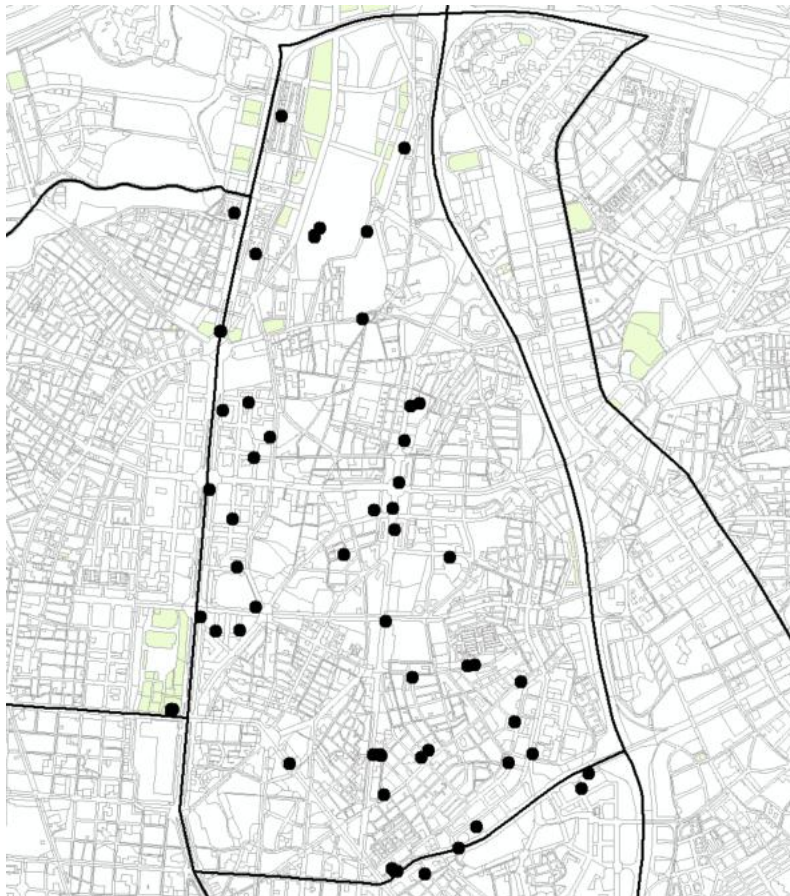


Ilustración 10 - Mapa Conjunto de Infraestructuras

El Índice  $G_i$  es un indicador binario (0-1) que representa la viabilidad mínima de las infraestructuras reales de estudio para realizar una actividad logística en la Última Milla). Se construye con aquellas Variables Locales (VL) del conjunto  $K$  que son aquellas cualidades restrictivas del emplazamiento y que, si no se cumplen, directamente la infraestructura no sirve para el uso logístico. Aquellas infraestructuras válidas pueden ponderarse con el Índice Local  $L_i$ .

El índice Local  $L_i$  es un índice Multicriterio que mide la calidad de la infraestructura real, en un emplazamiento concreto, para desarrollar una actividad logística en la Última Milla. Tras

seleccionar una Tipología y para la zona del caso de estudio en el distrito de Chamartín (Madrid), donde se han seleccionado las infraestructuras reales (Tabla 12) que se van a analizar.

El Índice  $L_i$  se calcula a partir de las Variables Locales (VL) puntuables  $J$ . Estas Variables se normalizan y se agregan a una suma ponderada mediante el método multicriterio **SAW** (*Simple Additive Weighting, explicado en 6. Metodología; 6.2 Pasos para la resolución de la metodología; FASE 6*) con pesos  $w_j$  (*explicado en 6. Metodología; 6.2 Pasos para la resolución de la metodología; FASE 7*) obtenidos mediante una ponderación por el método **SWING**.

A continuación, se describen las Infraestructuras Reales que forman parte de este caso de estudio y que han sido seleccionadas para dar un valor real a este TFM. Estas Infraestructuras existen y actualmente desempeñan una actividad propia que nada tiene que ver con la Logística de última Milla. Se han acotado dentro de los límites del Distrito de Chamartín, en la ciudad de Madrid. Serán analizadas una a una y puntuadas con el objetivo de establecer cuál de ellas es más o menos útil para el fin de albergar una actividad logística paralela a su actividad principal.

#### Listado de Infraestructuras Reales de estudio

TIPOLOGÍA DE INFRAESTRUCTURA	NOMBRE	DIRECCIÓN
<b>T1- Aparcamiento Público</b> Se eligen 3 aparcamientos públicos del distrito de Chamartín para este caso de estudio, de forma que el listado de infraestructuras de este mismo tipo a analizar sea más manejable y no demasiado extenso	<b>T1.1 Aparcamiento de María de Molina</b>	Calle María de Molina 27
	<b>T1.2 Aparcamiento Nuevos Ministerios</b>	Paseo de la Castellana, 100
	<b>T1.3 Parking Santo Domingo de Silos</b>	Calle de Santo Domingo de Silos, 6
<b>T2- Aparcamiento Privado</b>	<b>T2.1 Aparcamiento EMT Nuestra Señora del Recuerdo</b>	Calle de la Hiedra, 26
<b>T3- Estaciones de Metro</b> Se eligen 2 estaciones de Metro del distrito de Chamartín para este caso de estudio, de forma que el listado de infraestructuras de este mismo tipo a analizar sea más manejable y no demasiado extenso.	<b>T3.1 Santiago Bernabéu</b>	Paseo de la Castellana, 97
	<b>T3.2 Nuevos Ministerios</b>	Paseo de la Castellana, 65
<b>T4- Estaciones de tren</b>	<b>T4.1 Estación de Chamartín</b>	Calle Agustín de Foxá
<b>T5- Intercambiadores de transporte</b>	<b>T5.1 Intercambiador de Plaza Castilla</b>	Paseo de la Castellana 195
<b>T6- Mercados municipales</b>	<b>T6.1 Mercado Municipal Chamartín</b>	Calle de Bolivia, 9
	<b>T6.2 Mercado Municipal de San Cristóbal</b>	Calle de Torralba, 11
<b>T7- Equipamientos deportivos</b>	<b>T7.1 Centro Deportivo Municipal Pradillo</b>	Calle de Pradillo, 33

Tabla 16 - Infraestructuras reales de estudio

Para el Caso de Estudio y con el fin de que el análisis sea más manejable, se ha reducido el total de Infraestructuras reales que pertenecen al distrito de Chamartín a un total de 11. Para el fin del TFM esta reducción es totalmente válida pues no deja de examinar un emplazamiento real mínimo por cada Tipología de estudio y el replicar el análisis para más de 3 infraestructuras del mismo tipo no aporta más valor al estudio. Este TFM no pretende inventariar todos los elementos del distrito, simplemente demostrar la aplicabilidad del modelo y la capacidad de ayudar en las decisiones de selección.

Las 16 seleccionadas permiten que aquellas que estén dentro de una misma tipología puedan compararse entre sí y que el conjunto de 16 infraestructuras de distinto tipo también puedan compararse entre ellas. Finalmente, el mapa de las Infraestructuras de este caso de estudio queda así:

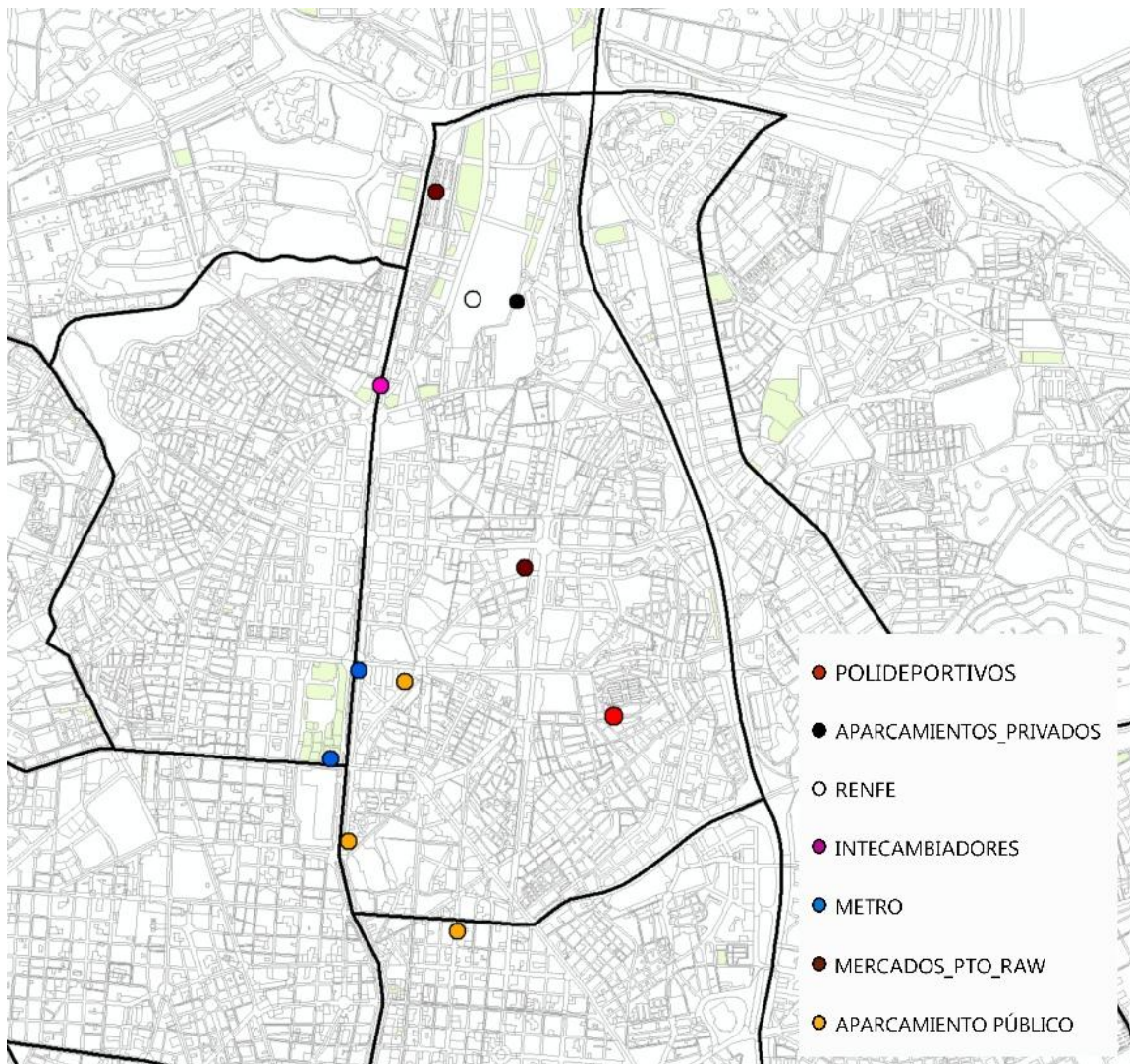


Ilustración 11 - Ubicación de las infraestructuras a estudiar

Una vez ubicadas las infraestructuras reales de estudio para cada Tipología, se comienzan a valorar una por una mediante su Índice Restrictivo  $G_i$ , el Indicador Local  $L_i$ .

Cada Infraestructura que se evalúe individualmente se marcará en azul en el plano de ubicación de ArcMap para ubicarla dentro del distrito.

El objetivo final es alcanzar el Índice de Idoneidad  $S_i$ , resultado final del Caso de Estudio.

Para cada Tipología se han definido previamente 5 Variables Locales (Tabla 8). Estas VL se han dividido en 2 tipos

Variables Locales Restrictivas  $K$ . Que son de condición mínima, se cumplen o no se cumplen. Si no se cumplen, la infraestructura no puede valorarse para un uso logístico. Estas pasan el filtro eliminadorio  $G_i$  puntuándolas con 0 si no lo pasan y con 1 si lo pasan.

Todas aquellas que se cumplan pasan a formar parte de las Variables Locales Puntuables  $J$ . Estas son características del emplazamiento y se valoran según cuánto cumpla con ese atributo la Infraestructura Real.

**Cálculo del salto SWING y vector normalizado  $W_t$**

Para cada Tipología se tienen 5 Variables Locales. Estas Variables se distinguen entre Restrictivas o  $K$  y entre puntuables o  $J$ .

Se evalúa a continuación el salto o (SWING  $s_j$  (0-100)) (método de ponderación SWING) de que asigna pesos a cada variable  $J$  de mayor salto al menor:

<b>Tipología T1- Aparcamiento público</b>				
<b>Variables J</b>	<b>Razonamiento</b>	<b>Swing <math>s_j</math> (0-100)</b>	<b><math>\Sigma s</math></b>	<b>Vector Peso <math>w_t = s_j / \Sigma s</math></b>
<b>AccesoReparto</b>	si no se puede operar, da igual lo demás	100	220	<b>0,4545</b>
<b>EspacioUtilizable</b>	sin área no hay implantación	80	220	<b>0,3636</b>
<b>ProximidadDemanda</b>	sólo mejora la eficiencia, pero no habilita	40	220	<b>0,1818</b>

<b>Tipología T2 - Aparcamiento privado</b>				
<b>Variables J</b>	<b>Razonamiento</b>	<b>Swing <math>s_j</math> (0-100)</b>	<b><math>\Sigma s</math></b>	<b>Vector Peso <math>w_t = s_j / \Sigma s</math></b>
<b>AccesoRodadoReal</b>	Problemas con gálibos, rampas	100	240	<b>0,4167</b>
<b>EspacioUtilizable</b>	Si ya está lleno, hay que negociar	85	240	<b>0,3542</b>
<b>ImpactoVecinal</b>	No es importante, ya hay una actividad en desarrollo	55	240	<b>0,2292</b>

<b>Tipología T3- Estaciones de Metro</b>				
<b>Variables J</b>	<b>Razonamiento</b>	<b>Swing <math>s_j</math> (0-100)</b>	<b><math>\Sigma s</math></b>	<b>Vector Peso <math>w_t = s_j / \Sigma s</math></b>
<b>EspacioDisponibleVestibulo</b>	Sin espacio para operar, imposible	100	180	<b>0,5556</b>
<b>AfluenciaPunta</b>	En hora punta, interferencias	80	180	<b>0,4444</b>

<b>Tipología T4 - Vestíbulos de Renfe</b>				
<b>Variables J</b>	<b>Razonamiento</b>	<b>Swing <math>s_j</math> (0-100)</b>	<b><math>\Sigma s</math></b>	<b>Vector Peso <math>w_t = s_j / \Sigma s</math></b>
<b>InterferenciaFlujos</b>	Interfiere con controles o viajeros	100	260	<b>0,3846</b>
<b>AccesoMercancias</b>	Complicado el acceso de mercancías	90	260	<b>0,3462</b>

<b>EspacioUtilizable</b>	Suele haber espacios, aunque con condiciones	70	260	<b>0,2692</b>
--------------------------	--	----	-----	---------------

<b>Tipología T5 - Intercambiador de Transporte</b>				
<b>Variables J</b>	<b>Razonamiento</b>	<b>Swing sj (0-100)</b>	<b>Σs</b>	<b>Vector Peso <math>w_t = sj/\Sigma s</math></b>
<b>InterferenciaFlujos</b>	Si molesta al viajero	100	260	<b>0,3846</b>
<b>AccesoRodado_Andenes</b>	Choca con la logística del propio intercambiador	85	260	<b>0,3269</b>
<b>EspacioDisponible</b>	Existe, aunque no mucho. Más en los vestíbulos.	75	260	<b>0,2885</b>

<b>Tipología T6 - Mercados Municipales</b>				
<b>Variables J</b>	<b>Razonamiento</b>	<b>Swing sj (0-100)</b>	<b>Σs</b>	<b>Vector Peso <math>w_t = sj/\Sigma s</math></b>
<b>MuelleCargaDescarga</b>	Si tiene muelle o espacio, operación habilitada.	100	260	<b>0,3846</b>
<b>EspacioAlmacenamientoLibre</b>	Si no hay hueco, se limita la actividad.	90	260	<b>0,3462</b>
<b>AccesoVehiculoReparto</b>	Suele tener.	70	260	<b>0,2692</b>

<b>Tipología T7 - Equipamientos deportivos</b>				
<b>Variables J</b>	<b>Razonamiento</b>	<b>Swing sj (0-100)</b>	<b>Σs</b>	<b>Vector Peso <math>w_t = sj/\Sigma s</math></b>
<b>AccesoRodadoServicio</b>	Sin acceso rodado, se reduce la operación	100	325	<b>0,3077</b>
<b>EventosPunta</b>	Bloqueo en horas pico.	85	325	<b>0,2615</b>
<b>EntornoSensibilidad</b>	Los usuarios se molestan	75	325	<b>0,2308</b>
<b>EspacioDisponible</b>	Suele haber	65	325	<b>0,2000</b>

Tabla 17 - Vector peso obtenido para cada Tipología

### T1.1 Aparcamiento público María de Molina

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 12 Aparcamiento público María de Molina*

**Tipología:** Aparcamiento público

**Ubicación:** Calle María de Molina 27.



Ilustración 13 - Entrada a aparcamiento María de Molina

### 1º Filtro eliminatorio G

*“Al no tener confirmación formal del gestor del aparcamiento, ni encontrar documentación o unas condiciones de uso claras que prohíban adoptar un uso auxiliar logístico y al tratarse de un caso de estudio académico donde se prioriza el desarrollo de la metodología como caso de ejemplo para lograr una comparación final del potencial de cada infraestructura para albergar un uso logístico, se adopta una “compatibilidad condicionada” y se aplica  $R=1$  en cada filtro eliminatorio de cada infraestructura real para cada tipología.*

*Esto se traduce en que todas las infraestructuras pueden albergar una función logística y por tanto todas pueden ser valoradas obteniendo un Índice Local, logrando finalmente un Índice de Idoneidad Si que valore su potencial logístico.*

*Si se quisiera profundizar más en este filtro se deberían consultar diversas fuentes oficiales donde encontrar respuesta, como la propia web de la infraestructura si es que la tuviera o una consulta documental más profunda como el catastro o el PGOUM donde se citan los usos compatibles del espacio”*

Se comprueba que las Variables Locales tipo **K** cumplen las condiciones mínimas:

**VL\_APU\_CompatibilidadNormativa (K):  $R_{1,1.1}=1$**

Se considera viable que esta infraestructura pueda albergar un uso auxiliar, en este caso logístico.

**VL\_APU\_SeguridadPCI (K): R2,1.1=1**

El aparcamiento cumple las condiciones mínimas de Prevención Contra Incendios y que implantar una nueva actividad no compromete evacuaciones.

Resultado del Filtro Eliminatorio G → **G1.1= R1,1.1 · R2,1.1 = 1·1 = 1**

**2º Variables puntuables J**

Definidos los valores de SWING para la Tipología 1 Aparcamientos públicos

$$w_t = [0,4545; 0,3636; 0,1818]$$

Y ahora se valoran las Variables Locales de cada infraestructura en concreto según las condiciones reales que tenga. Se asignan puntuaciones y se normalizan como:

$$VL_{j,i'} = \frac{\text{Puntuación (0-100)}}{100}$$

**AccesoReparto = 60 → VL<sub>Acceso,1.1'</sub> = 0,60**

El acceso rodado es aceptable, aunque se establece un gálibo de 2,05 m lo que condiciona qué vehículos de reparto pueden acceder. Las curvas son algo estrechas lo que impide maniobrabilidad. Hay acceso peatonal por escaleras y ascensor.



*Ilustración 14 - Acceso a aparcamiento María de Molina*

$$\text{EspacioUtilizable} = 40 \rightarrow \text{VL}_{\text{Espacio},1.1'} = 0,40$$

La mayor parte del aparcamiento ya está ocupado por plazas. Para habilitar un espacio logístico habría que modificar o suprimir plazas existentes. El aparcamiento consta de dos plazas subterráneas por lo que el espacio es amplio. En las zonas de tránsito peatonal sí se puede destinar algún espacio para albergar alguna función de almacenamiento de mercancías.



*Ilustración 15 - Interior Aparcamiento María de Molina*

$$\text{ProximidadDemanda} = 80 \rightarrow \text{VL}_{\text{Proximidad},1.1'} = 0,80$$

Zona residencial, muy próxima al centro urbano y a áreas comerciales.

### 3º Cálculo del Índice Local Li

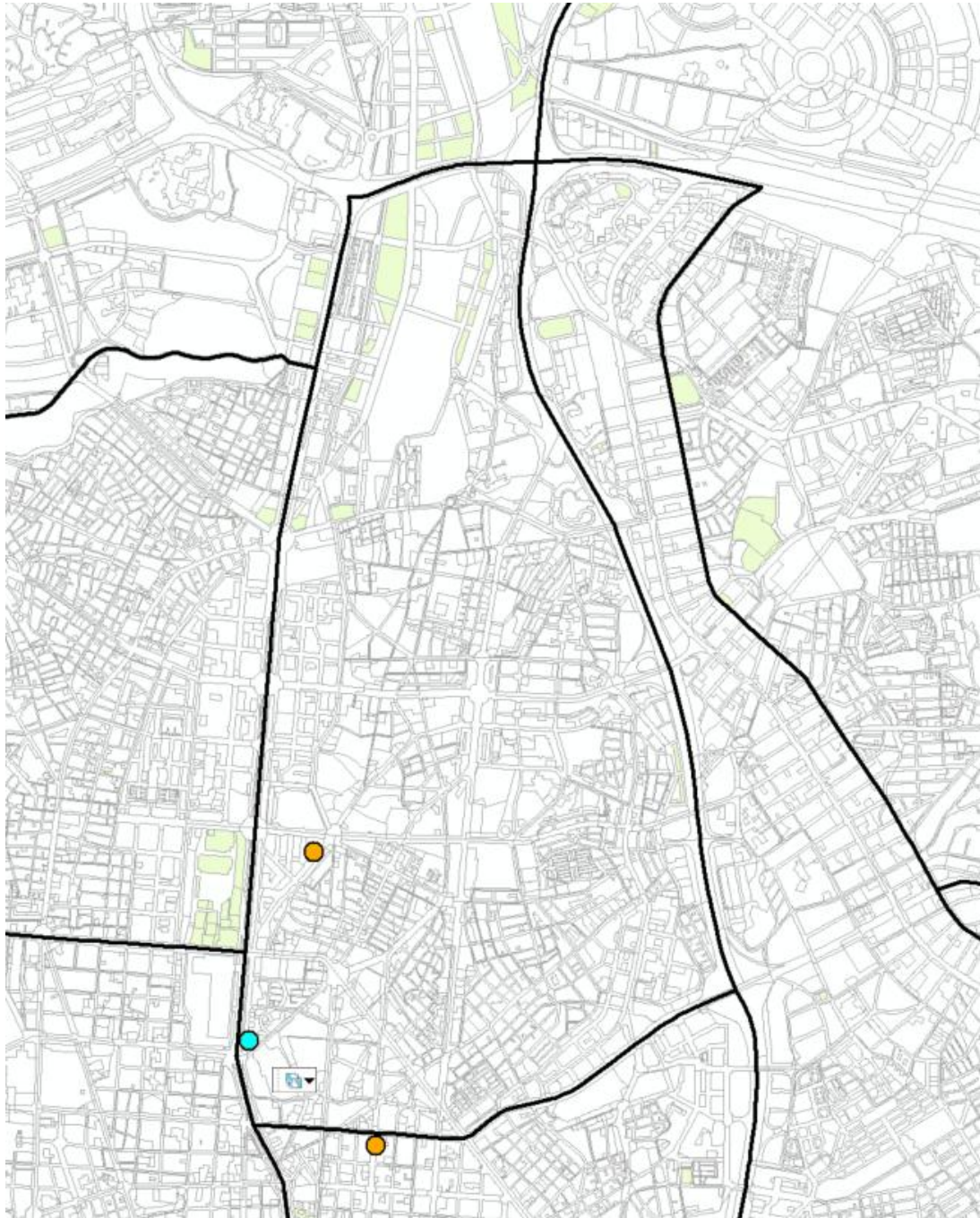
$$L_{1.1} = w_{\text{Acceso}} \cdot \text{VL}_{\text{Acceso},1.1'} + w_{\text{Espacio}} \cdot \text{VL}_{\text{Espacio},1.1'} + w_{\text{Proximidad}} \cdot \text{VL}_{\text{Proximidad},1.1'}$$

$$L_{1.1} = 0,4545 \cdot 0,60 + 0,3636 \cdot 0,40 + 0,1818 \cdot 0,80$$

$$L_{1.1} = 0,5636$$

## T1.2 Aparcamiento público Nuevos Ministerios

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 16 - Ubicación aparcamiento público Nuevos Ministerios*

**Tipología:** Aparcamiento público

**Dirección:** P.º de la Castellana, 100, Chamartín, 28046 Madrid



Ilustración 17 - Acceso aparcamiento Público Nuevos Ministerios

### 1º Filtro Eliminatorio G

VL\_APU\_CompatibilidadNormativa (K):  $R1,1.2 = 1$

Se considera viable que esta infraestructura pueda albergar un uso auxiliar, en este caso logístico.

VL\_APU\_SeguridadPCI (K):  $R2,1.2 = 1$

El aparcamiento cumple las condiciones mínimas de Prevención Contra Incendios y que implantar una nueva actividad no compromete evacuaciones.

$$G1.2 = R1,1.2 \cdot R2,1.2 = 1 \cdot 1 = 1$$

### 2º Variables puntuables J

AccesoReparto = 80  $\rightarrow$  VLAcceso,1.2' = 0,80

Gálibo elevado (2,80 m), curvas amplias y buena maniobrabilidad para vehículos de reparto. Acceso peatonal también favorable.



Ilustración 18 - Curva de acceso a aparcamiento Nuevos Ministerios

**EspacioUtilizable= 90** →  $VL_{Espacio,1.2}' = 0,90$

Disponibilidad de espacios amplios y techos altos; presencia de áreas asociadas a recarga VE y potencial para habilitar zona de carga/descarga o micro almacenamiento.



Ilustración 19 - Espacios amplios del aparcamiento Nuevos Ministerios

**ProximidadDemanda= 90** →  $VL_{Proximidad,1.2} = 0,90$

Ubicación próxima a zonas comerciales y en un entorno altamente residencial, lo que incrementa el potencial de demanda.

### 3º Cálculo del Índice Local $L_i$

$$w_t = [0,4545; 0,3636; 0,1818]$$

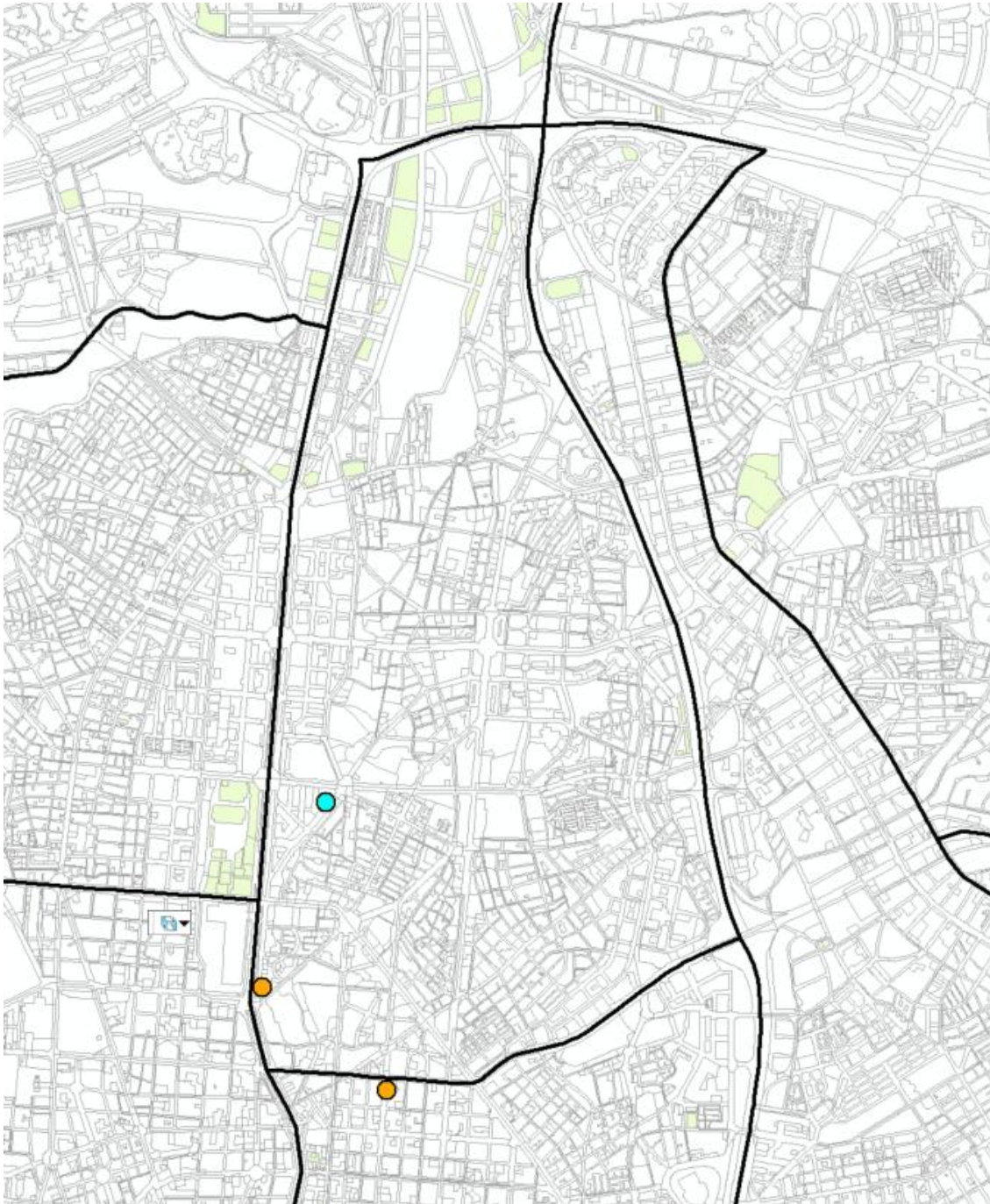
$$L_{1.2} = w_{Acceso} \cdot VL_{Acceso,1.2}' + w_{Espacio} \cdot VL_{Espacio,1.2}' + w_{Proximidad} \cdot VL_{Proximidad,1.2}'$$

$$L_{1.2} = 0,4545 \cdot 0,80 + 0,3636 \cdot 0,90 + 0,1818 \cdot 0,90$$

$$L_{1.2} = 0,8545$$

### T1.3 Aparcamiento Santo Domingo de Silos

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 20 - Localización Aparcamiento Santo Domingo de Silos*

**Tipología:** Aparcamiento público

**Dirección:** C. de Santo Domingo de Silos, 6, Chamartín, 28036 Madrid



Ilustración 21 - Acceso aparcamiento Santo Domingo de Silos

### 1º Filtro Eliminatorio G

VL\_APU\_CompatibilidadNormativa (K):  $R_{1,1.3} = 1$

Se considera viable que esta infraestructura pueda albergar un uso auxiliar, en este caso logístico.

VL\_APU\_SeguridadPCI (K):  $R_{2,1.3} = 1$

El aparcamiento cumple las condiciones mínimas de Prevención Contra Incendios y que implantar una nueva actividad no compromete evacuaciones.

$$G_{1.3} = R_{1,1.3} \cdot R_{2,1.3} = 1 \cdot 1 = 1$$

### 2º Variables puntuables J

AccesoReparto = 50  $\rightarrow$  VLAcceso,1.3' = 0,50

El acceso rodado existe, pero el gálibo de 1,95 m limita el tipo de vehículo. El interior es estrecho y con curvas cerradas, lo que reduce la maniobrabilidad. El acceso peatonal sí es válido.



Ilustración 22 - Espacio en el aparcamiento de Santo Domingo de Silos

**EspacioUtilizable= 50** →  $VLEspacio,1.3'= 0,90$

Disponibilidad limitada; habría que eliminar plazas para habilitar zona logística. Las áreas peatonales podrían acondicionarse, aunque con superficie reducida.

**ProximidadDemanda= 30** →  $VLProximidad,1.3=0,90$

En la zona hay picos en que la demanda es muy elevada y el aparcamiento exterior es escaso, lo que hace más eficiente priorizar el uso actual del aparcamiento que darle una segunda funcionalidad logística.

### 3º Cálculo del Índice Local Li

$$w_t = [0,4545; 0,3636; 0,1818]$$

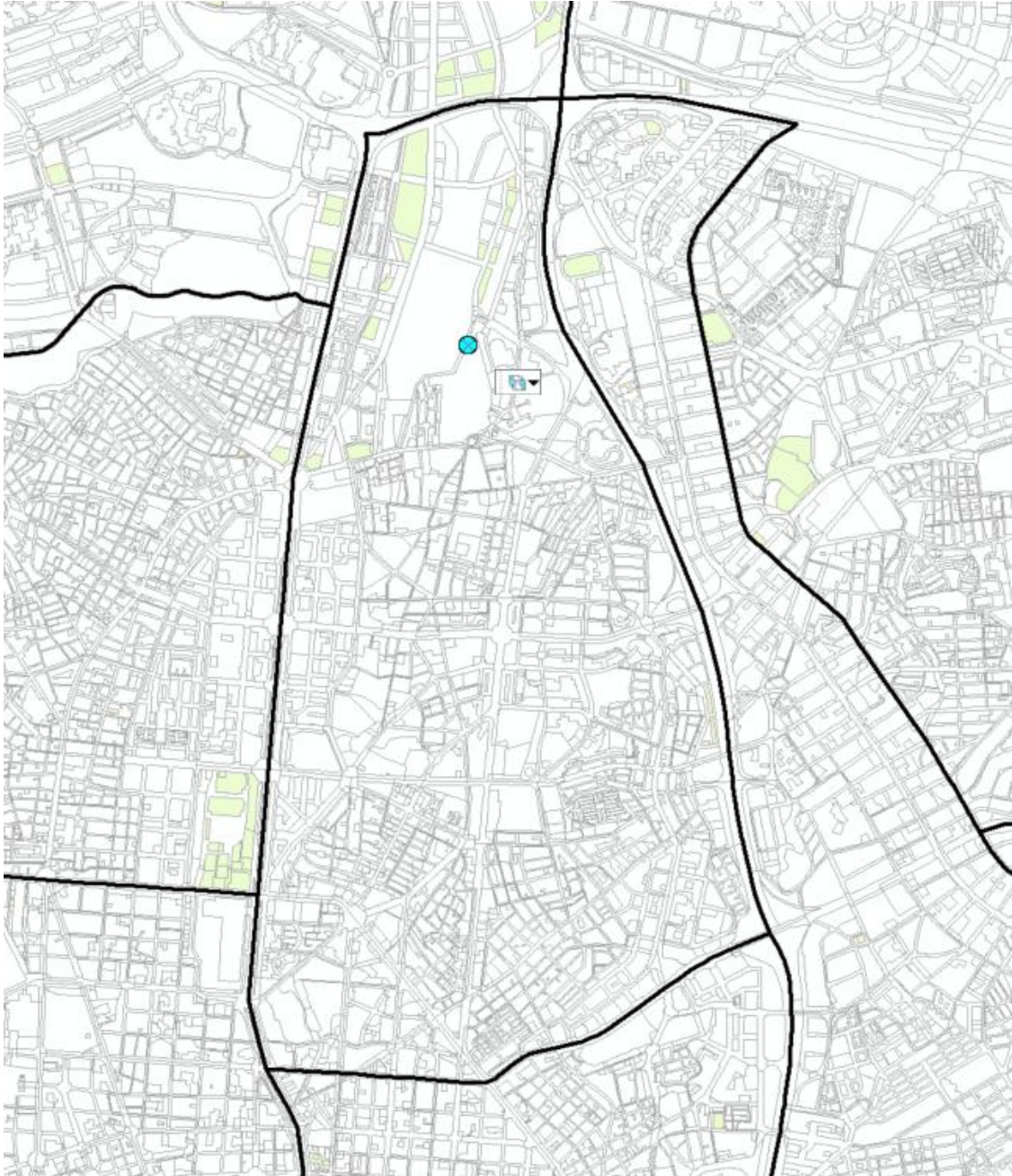
$$L_{1.3} = w_{Acceso} \cdot VL_{Acceso,1.3'} + w_{Espacio} \cdot VL_{Espacio,1.3'} + w_{Proximidad} \cdot VL_{Proximidad,1.3'}$$

$$L_{1.3} = 0,4545 \cdot 0,50 + 0,3636 \cdot 0,50 + 0,1818 \cdot 0,30$$

$$L_{1.3} = 0,4636$$

## T2.1 Aparcamiento EMT Nuestra Señora del Recuerdo

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 23 - Localización del aparcamiento privado de la EMT Nuestra Señora del Recuerdo*

**Tipología:** Aparcamiento privado

**Dirección:** Calle de la Hiedra 26, 28036 Madrid



Ilustración 24 - Acceso al aparcamiento privado de la EMT Nuestra Señora del Recuerdo

### 1º Filtro eliminatorio G

#### **VL<sub>APR\_AcuerdoPropiedad</sub> (K) R1,2.1=1**

Existe un acuerdo con la propiedad para albergar un uso logístico en las instalaciones del aparcamiento. Este aparcamiento se usa como depósito de grúa y también lo explota una empresa de alquiler de vehículos privados. El uso auxiliar está justificado.

#### **VL<sub>APU\_SeguridadPCI</sub> (K): R2,2.1=1**

El aparcamiento cumple las condiciones mínimas de Prevención Contra Incendios y que implantar una nueva actividad no compromete evacuaciones.

Resultado del Filtro Eliminatorio G → **G2.1=** R1,2.1 · R2,2.1 = 1·1 = **1**

### 2º Variables puntuables J

#### **Acceso Rodado = 50 → VL<sub>Acceso,2.1'</sub> = 0,50**

El acceso rodado es aceptable, aunque se establece un gálibo de 2,10 m lo que condiciona qué vehículos de reparto pueden acceder. Hay acceso peatonal por escaleras y ascensor.

#### **EspacioUtilizable = 70 → VL<sub>Espacio,2.1'</sub> = 0,70**

Hay espacio disponible y se puede llegar a acuerdo con las distintas empresas que operan el aparcamiento privado para que habiliten un espacio de operación a cambio de un acuerdo económico.

$$\text{Impacto Vecinal} = 80 \rightarrow \mathbf{VL_{Impacto,2.1'}} = 0,80$$

El impacto es mínimo. La infraestructura ya existe y el entorno está ya acostumbrado a su explotación. Darle un uso auxiliar no implicaría un problema, más bien una solución.

### 3º Cálculo del Índice Local Li

$$\mathbf{w_t} = [0,4167; 0,3542; 0,2292]$$

$$\mathbf{L_{2.1}} = \mathbf{w_{Acceso} \cdot VL_{Acceso,2.1'}} + \mathbf{w_{Espacio} \cdot VL_{Espacio,2.1'}} + \mathbf{w_{Proximidad} \cdot VL_{Proximidad,2.1'}}$$

$$\mathbf{L_{2.1}} = 0,4167 \cdot 0,50 + 0,3542 \cdot 0,70 + 0,2292 \cdot 0,80$$

$$\mathbf{L_{2.1}} = \mathbf{0,6396}$$

### T3.1 – Estación de Metro de Santiago Bernabéu

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 25 - Localización de la Estación de Metro Santiago Bernabéu*

**Tipología:** Estación de Metro

**Dirección:** Paseo de la Castellana 97, 28046 Madrid



Ilustración 26 - Acceso a la Estación de Metro Santiago Bernabéu

### 1º Filtro eliminatorio G

**VL\_MET\_CumplimientoEvacuacion (K):** R1,3.1 = 1

La infraestructura de metro de Madrid ya dispone de un sistema de evacuación para los usuarios de la red. El uso de las instalaciones para una actividad logística de última milla se acoge a las herramientas y recorridos de evacuación que ya creados.

**VL\_MET\_PCINormativaSubterranea (K):** R2,3.1= 1

La red de metro ya dispone de un Plan Contra Incendios para toda la red. Se consideraría la actividad logística parte de la Red de Metro y adoptaría las medidas de protección.

**VL\_MET\_ControlOperador (K):** R3,3.1=1

Implantar un uso auxiliar en una estación requiere de autorización por parte del operador o gestor del sistema. Para este caso académico se asume la hipótesis de dar por válida la autorización de un segundo uso de las instalaciones. Además, y basando el criterio en las visitas a las infraestructuras de estudio, se ha visto usos terciarios en alguna estación de metro.

Resultado del Filtro Eliminatorio G → **G3.1=** R1,3.1 · R2,3.1 = 1·1 = **1**

## 2º Variables puntuables J

$$\text{EspacioDisponibleVestibulo} = 30 \rightarrow \mathbf{VL_{Espacio,3.1'}} = 0,30$$

En esta estación en concreto el espacio es limitado lo que reduce las posibilidades de albergar una actividad logística.



Ilustración 27 - Vestíbulo estación de Metro Santiago Bernabéu

$$\text{AfluenciaPunta} = 50 \rightarrow \mathbf{VL_{Afluencia,3.1'}} = 0,50$$

Hay gran afluencia en horas pico, incluso excesiva, lo que resta utilidad a la actividad logística. En horas llanas sí se podría desarrollar una actividad.

## 3º Cálculo del Índice Local Li

$$\mathbf{w_t = [0,556; 0,4444]}$$

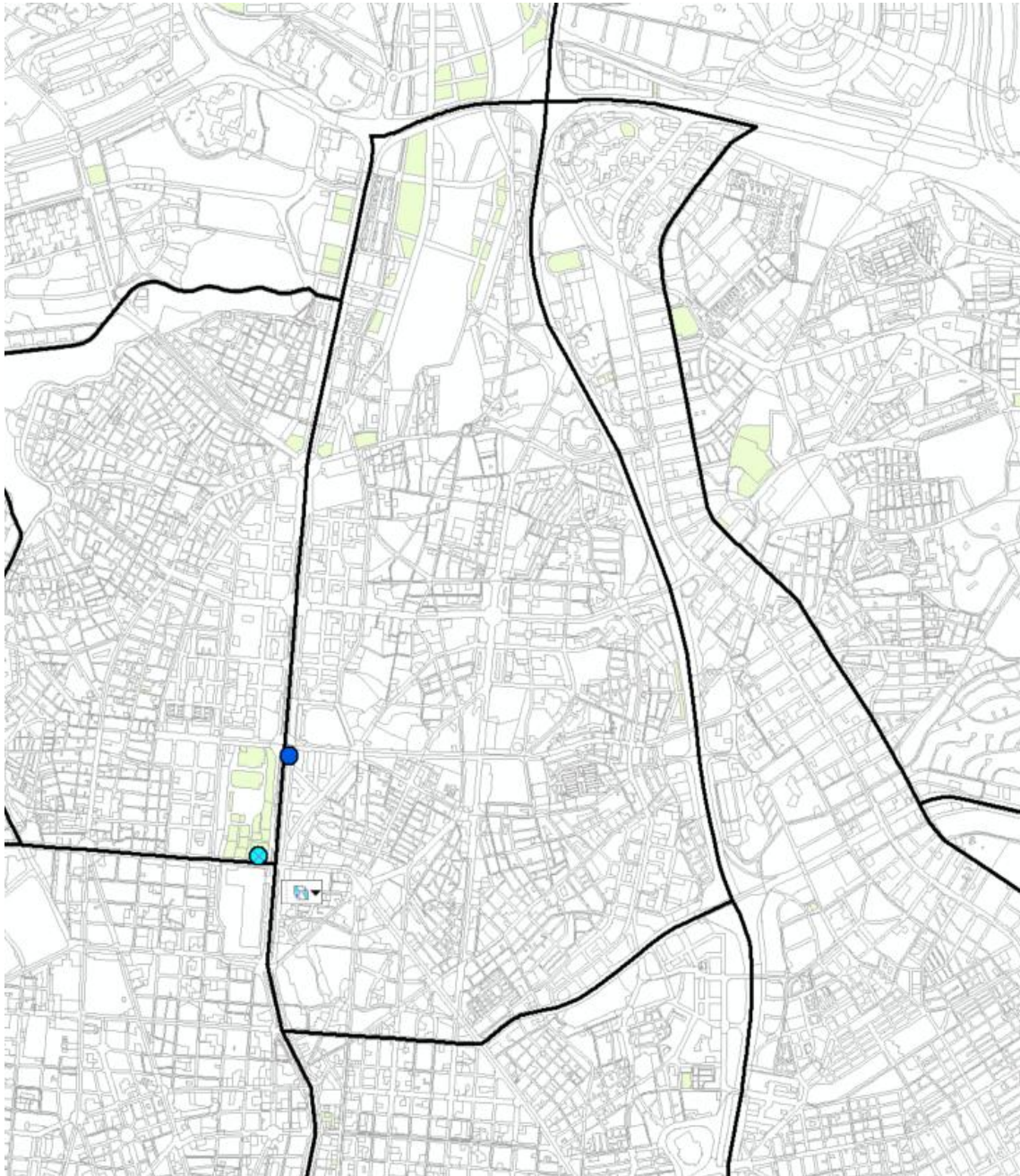
$$\mathbf{L_{3.1} = w_{Espacio} \cdot VL_{Espacio,3.1'} + w_{Afluencia} \cdot VL_{Afluencia,3.1'}}$$

$$\mathbf{L_{3.1} = 0,5556 \cdot 0,30 + 0,4444 \cdot 0,50}$$

$$\mathbf{L_{3.1} = 0,3889}$$

### T3.2 Estación de Metro de Nuevos Ministerios

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 28 - Localización de la Estación de Metro de Nuevos Ministerios*

**Tipología:** Estación de Metro

**Dirección:** Paseo de la Castellana 97, 28046 Madrid



Ilustración 29 - Acceso a la Estación de Metro de Nuevos Ministerios

### 1º Filtro eliminatorio G

VL\_MET\_CumplimientoEvacuacion (K):  $R1,3.2 = 1$

VL\_MET\_PClyNormativaSubterranea (K):  $R2,3.2 = 1$

VL\_MET\_ControlOperador (K):  $R3,3.2 = 1$

Resultado del Filtro Eliminatorio G  $\rightarrow G3.2 = R1,3.2 \cdot R2,3.2 \cdot R3,3.2 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$

### 2º Variables puntuables J

EspacioDisponibleVestibulo = 100  $\rightarrow VLEspacio,3.4' = 1,00$

Espacio de sobra. Esta infraestructura es super potencial. En sus vestíbulos ya acoge varios negocios como cafeterías, tiendas, gimnasio. Tiene además espacios vacíos que podrían ser convertidos para actividades de última milla.



Ilustración 30 - Espacios con uso alternativo dentro del Metro de Nuevos Ministerios

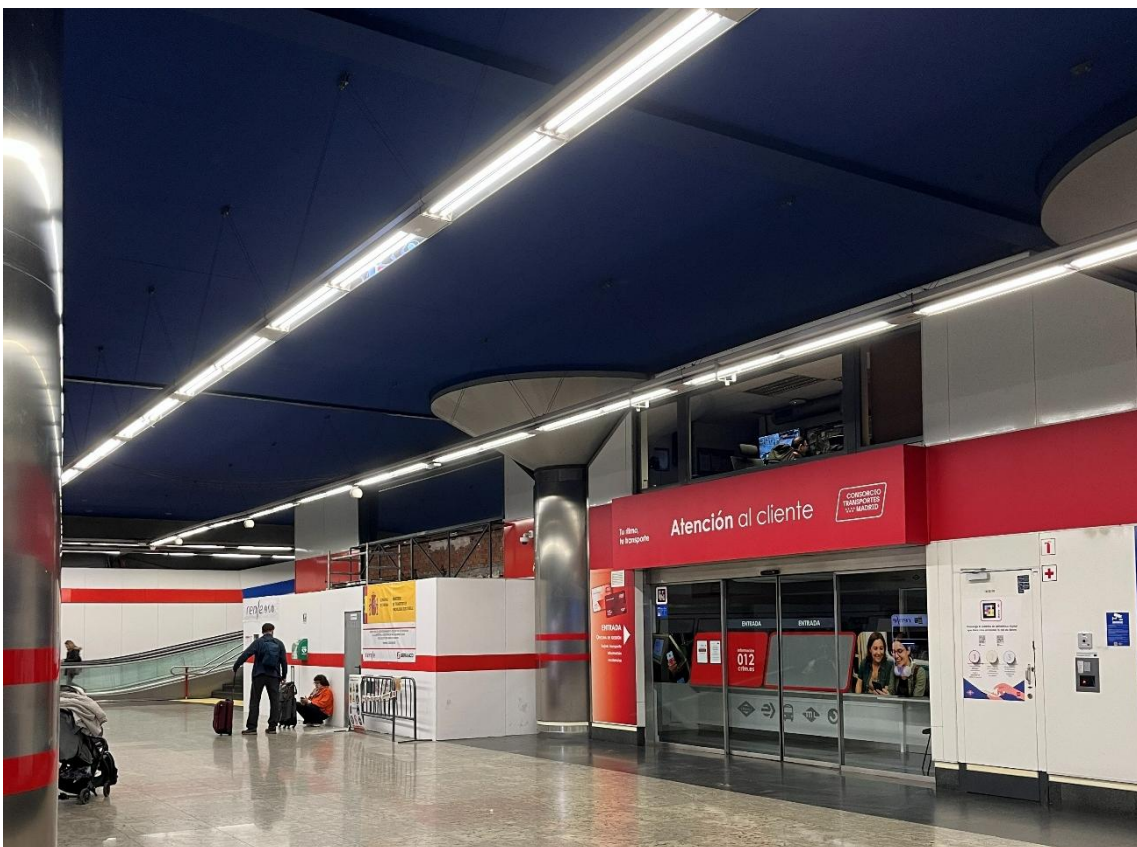


Ilustración 31 - Local disponible en la estación de Metro de Nuevos Ministerios



*Ilustración 32 - Uso alternativo en la estación de Metro de Nuevos Ministerios*

**AfluenciaPunta** = 80 →  $VLAfluencia, 3.4' = 0,80$

Al ser un nodo de interconexión con varias líneas de metro que confluyen y al tener el espacio bien distribuido, las actividades se podrían desarrollar sin perjudicar a los usuarios del metro y estos se podrían beneficiar de las actividades que se desarrollarían. Además, se encuentra en una zona donde los no usuarios del metro pueden aprovechar estas instalaciones por su buena ubicación y conexión con otros transportes.



Ilustración 33 - Ubicación estratégica de la estación de Metro de Nuevos Ministerios

### 3º Cálculo del Índice Local $L_i$

$$w_t = [0,556; 0,4444]$$

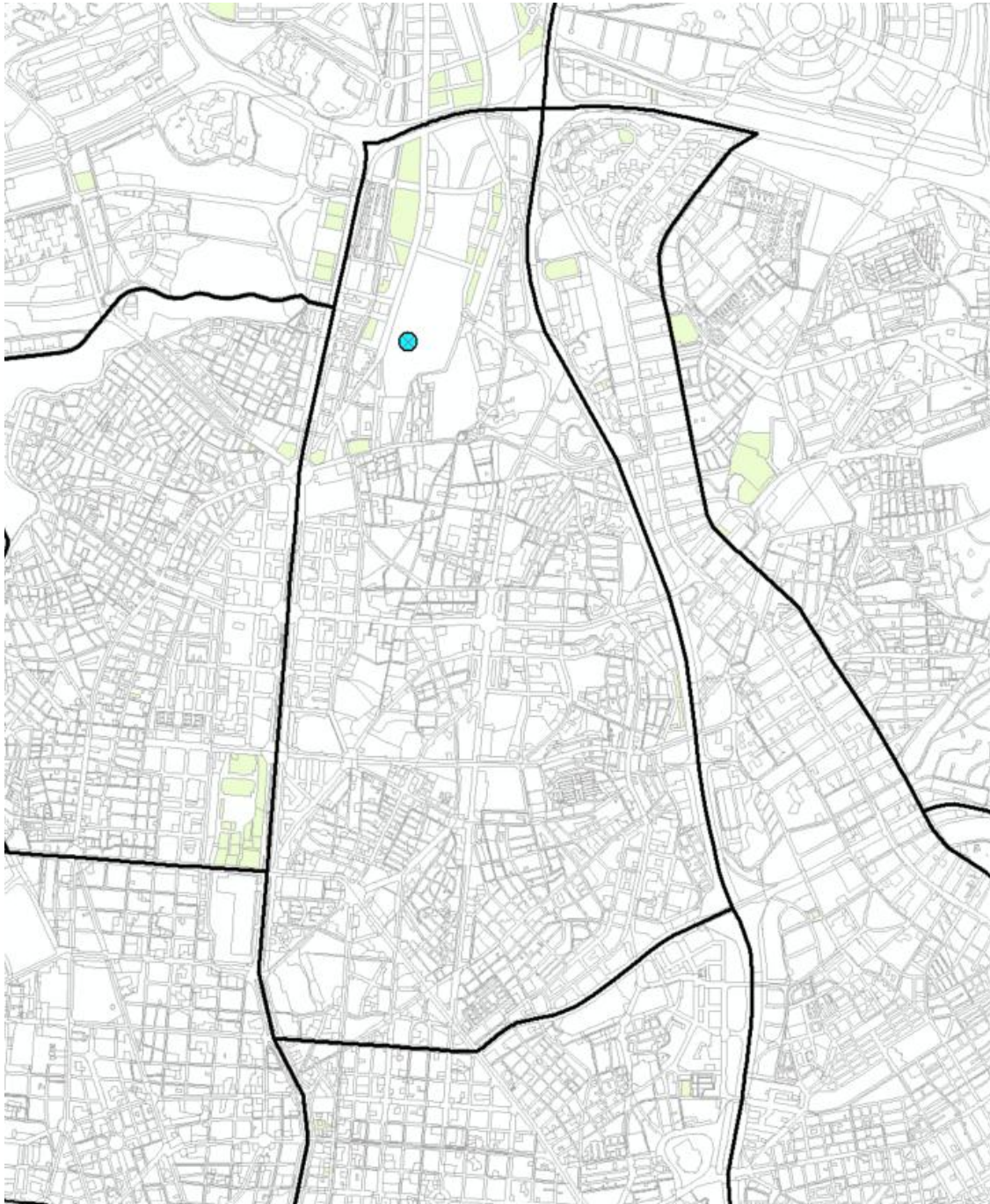
$$L_{3,2} = w_{\text{Espacio}} \cdot VL_{\text{Espacio},3,2'} + w_{\text{Afluencia}} \cdot VL_{\text{Afluencia},3,2'}$$

$$L_{3,2} = 0,5556 \cdot 1,00 + 0,4444 \cdot 0,80$$

$$L_{3,2} = 0,9112$$

#### T4.1 – Estación de Renfe de Chamartín

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 34 - Ubicación de la Estación de Renfe de Chamartín*

**Tipología:** Estación de Renfe

**Dirección:** Calle Agustín de Foxá, s/n, 28036 Madrid



*Ilustración 35 - Acceso a la Estación de Chamartín*

### **1º Filtro eliminatorio G**

**VL\_TREN\_AutorizaciónGestor (K):** R1,4.1 = 1

**VL\_TREN\_CompatibilidadSeguridad (K):** R2,4.1 = 1

Resultado del Filtro Eliminatorio G → **G4.1** = R1,4.1 · R2,4.1 = 1 · 1 = 1

### **2º Variables puntuables J**

**EspacioUtilizable = 95** → VLEspacio,4.1' = 0,95

La estación de Chamartín dispone grandes áreas y espacios muy distintos para poder desarrollar un uso auxiliar sin afectar a la función principal. Los vestíbulos, las áreas comerciales que ya existen, los pasillos amplios de conexión hacen esta infraestructura potencial. Habría que reconfigurar espacios y programar cambios, por eso no llega al 100.



*Ilustración 36 - Uso alternativo en la Estación de Chamartín*

**Acceso Mercancías = 90** →  $VLA_{\text{Acceso}, 4.1'} = 0,90$

Al ser un nodo logístico de transportes tan potente y al disponer de negocios internos que debe abastecer, esta estación cuenta con accesos para vehículos, incluso aparcamiento propio. Le resta el que ejercer una actividad logística en horas de afluencia pueda entorpecer la logística interna.



*Ilustración 37 - Acceso Rodado a la Estación de Chamartín*

**InterferenciaFlujos = 60** →  $V_{LInterf,4.1}' = 0,60$

Mucha afluencia. Por un lado, es positivo ya que alguna actividad logística puede beneficiar al usuario de la estación. Por otro lado, puede existir conflicto en las horas punta. No hay que desviar la atención del uso principal que es el transporte de viajeros. Los grandes espacios de la estación hacen que si se diseña bien pueda ser bastante funcional.

### **3º Cálculo del Índice Local Li**

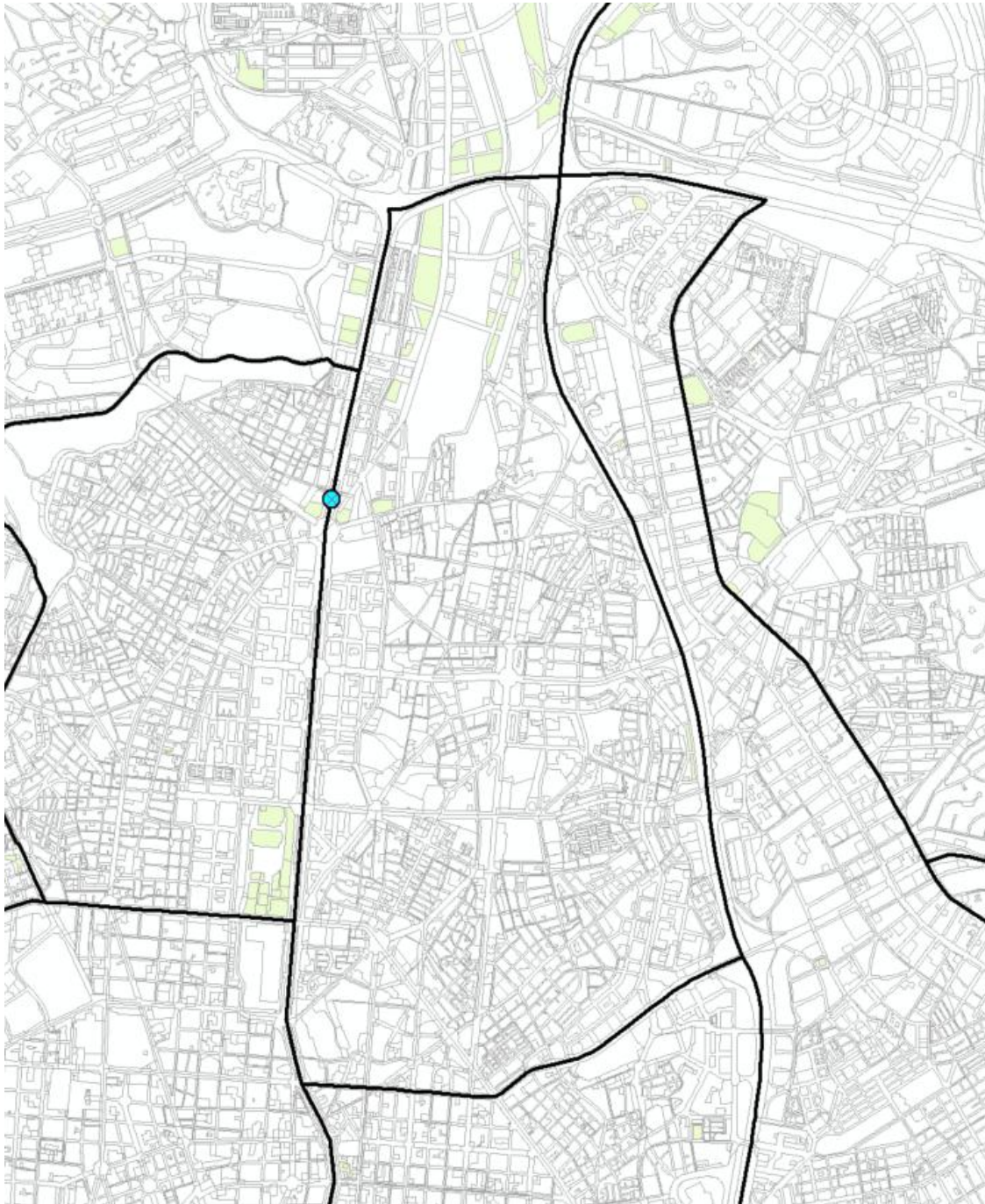
$$w_t = [0,3846; 0,3462; 0,2692]$$

$$L_{4.1} = 0,2692 \cdot 0,95 + 0,3462 \cdot 0,90 + 0,3846 \cdot 0,60$$

$$L_{4.1} = \mathbf{0,7981}$$

### T5.1 Intercambiador de Plaza Castilla

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 38 - Ubicación del Intercambiador de Plaza Castilla*

**Tipología:** Intercambiador de transporte

**Dirección:** Paseo de la Castellana, 195. 28046 Madrid



Ilustración 39 - Acceso al Intercambiador de Plaza Castilla

### 1º Filtro eliminatorio G

VL\_INT\_CumplimientoNormativo (K):  $R1,5.1=1$

VL\_INT\_PCI (K):  $R2,5.1=1$

$$G5.1=R1,5.1 \cdot R2,5.1 = 1 \cdot 1 = 1$$

### 2º Variables puntuables J

VL\_INT\_EspacioDisponible = 95  $\rightarrow$  VLEspacio,5.1' = 0,95

Es un espacio grande, dispone de negocios en el interior y en el exterior y algún espacio disponible que aún no tiene una funcionalidad y podría destinarse desde ya a ejercer un uso de logística última milla. La pega que los espacios de los que se disponen son de un tamaño medio.

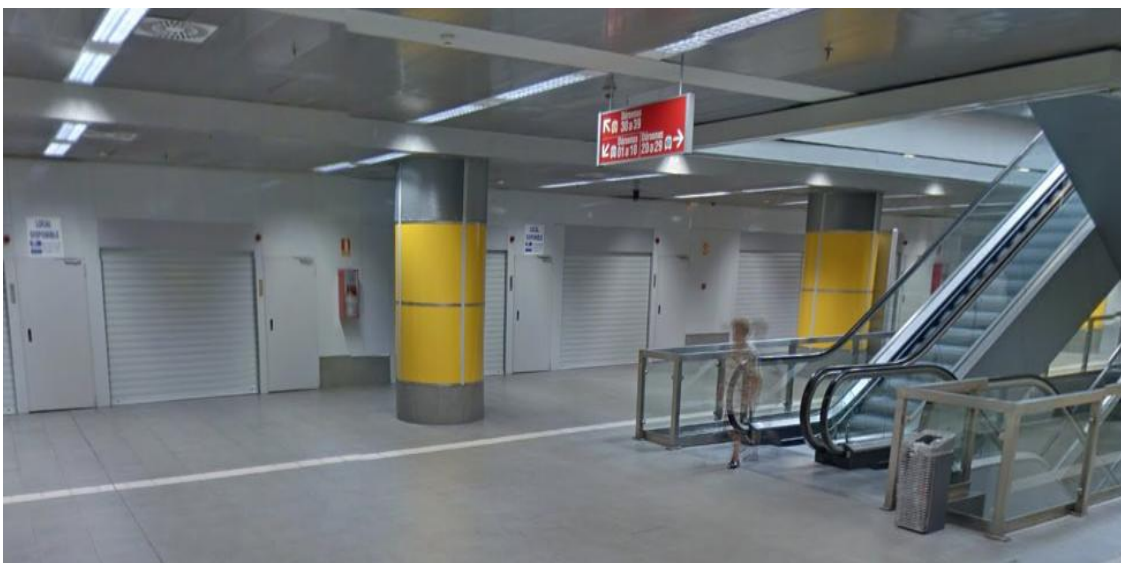


Ilustración 40 - Espacios disponibles en el Intercambiador de Plaza Castilla

**VL\_INT\_AccesoRodado\_Andenes = 85** →  $VL_{Acceso,5.1}' = 0,85$

El acceso rodado es amplio, destinado a la entrada y salida de autobuses. La zona de aparcamiento se ve limitada por el uso principal, pero en horas de cierre se dispone de una zona amplia donde realizar maniobras con vehículos.

**VL\_INT\_InterferenciaFlujos (baja interferencia) = 65** →  $VL_{Interf,5.1}' = 0,65$

Muchos viajeros en horas punta lo que puede interferir en el correcto desarrollo de la actividad logística. No obstante, el espacio es amplio y si se diseñan bien los horarios se podría operar logísticamente. El paso de usuarios también es positivo por los servicios que se puedan prestar.

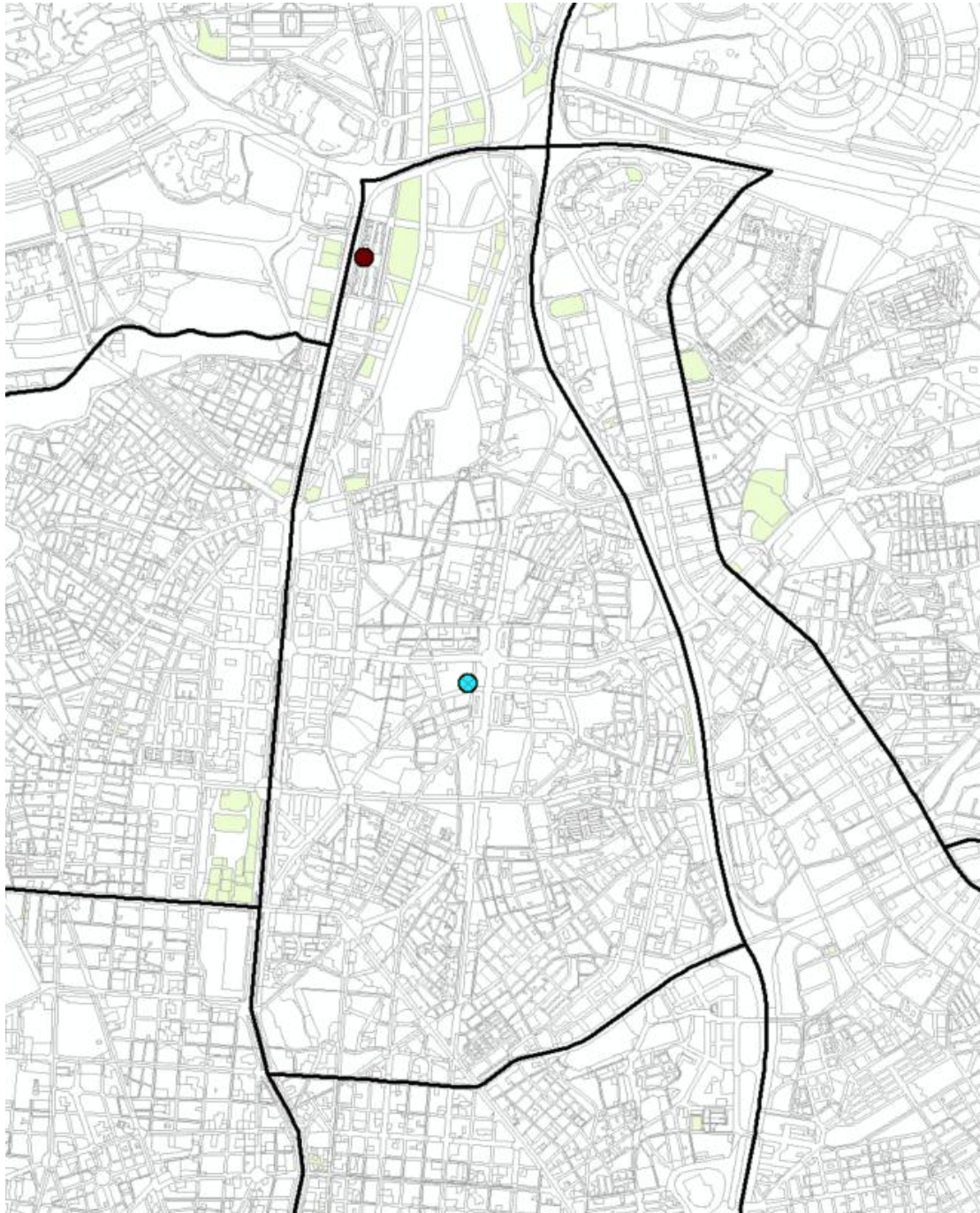
### **3º Cálculo del Índice Local Li**

$$L_{5.1} = 0,2885 \cdot 0,95 + 0,3846 \cdot 0,65 + 0,3269 \cdot 0,85$$

$$L_{5.1} = \mathbf{0,8020}$$

### T6.1 Mercado Municipal de Chamartín

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 41 - Ubicación del Mercado Municipal de Chamartín*

**Tipología:** Mercados Municipales

**Dirección:** C. de Bolivia, 9, Chamartín, 28046 Madrid



Ilustración 42 - Acceso al Mercado Municipal de Chamartín

### 1º Filtro eliminatorio G

**VL\_MER\_GestionMunicipalPermisos (K):** R1,6.1=1

**VL\_MER\_CompatibilidadSanitaria (K):** R2,6.1= 1

$$\mathbf{G6.1=R1,6.1 \cdot R2,6.1 = 1}$$

### 2º Variables puntuables J

**VL\_MER\_MuelleCargaDescarga = 30** →  $VLMuelle,6.1' = 0,30$

No hay muelle trasero, sólo una zona de carga/descarga frontal que es habilitada para surtir de mercancía al propio mercado. Es para abastecerlo puntualmente pero un exceso de mercancías podría hacer que esta zona que está en calzada urbana provoque lo contrario a lo que se busca y colapse la zona, produciendo conflictos con el entorno urbano.

**VL\_MER\_EspacioAlmacenamientoLibre = 70** →  $VLEspacio,6.1' = 0,70$

Existe almacén y espacios que pueden ser reconvertibles para albergar un espacio logístico. Dependerá de la disponibilidad real y cómo se gestione.

**VL\_MER\_AccesoVehiculoReparto = 75** →  $VLAcceso,6.1' = 0,75$

El apoyo de la zona de carga y descarga y el aparcamiento propio del mercado que puede permitir operaciones en horarios de cierre.



*Ilustración 43 - Acceso Rodado al Mercado Municipal de Chamartín*

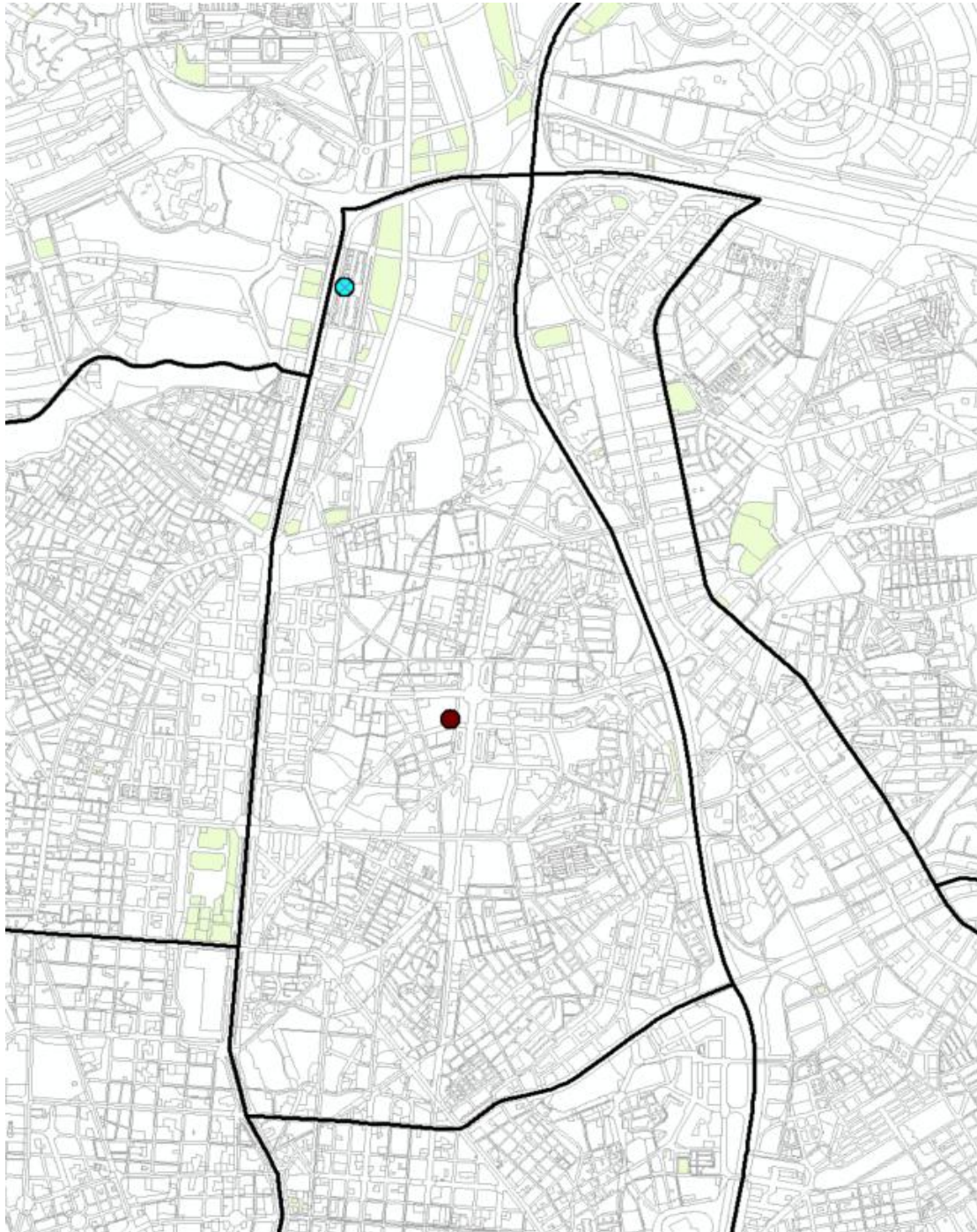
### 3º Cálculo del Índice Local Li

$$L6.1=0,3846 \cdot 0,30+0,3462 \cdot 0,70+0,2692 \cdot 0,75$$

$$L6.1= 0,5596$$

## T6.2 Mercado Municipal de San Cristóbal

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 44 - Localización del Mercado Municipal de San Cristóbal*

**Tipología:** Mercado Municipal

**Dirección:** Calle de Conde de Torralba 11, 28046 Chamartín



Ilustración 45 - Mercado Municipal de San Cristobal sin acceso rodado

### 1º Filtro eliminatorio G

**VL\_MER\_GestionMunicipalPermisos (K): R1,6.1=1**

**VL\_MER\_CompatibilidadSanitaria (K): R2,6.1= 1**

$$\mathbf{G6.1=R1,6.1 \cdot R2,6.1 = 1}$$

### 2º Variables puntuables J

**VL\_MER\_MuelleCargaDescarga = 5** →  $VLMuelle,6.2' = 0,05$

No existe muelle ni zona de carga/descarga. El acceso es básicamente peatonal y solo admite suministros de pequeño tamaño por una puerta lateral.

**VL\_MER\_EspacioAlmacenamientoLibre = 10** →  $VLEspacio,6.2' = 0,10$

Espacio muy reducido; no hay áreas que puedan ser fácilmente reconvertibles para uso logístico.

**VL\_MER\_AccesoVehiculoReparto = 0** →  $VLAcceso,6.2' = 0,00$

No hay acceso rodado.

### 3º Cálculo del Índice Local Li

$$\mathbf{wt = [0,3846; 0,3462; 0,2692]}$$

$$\mathbf{L6.2=0,3846 \cdot 0,05+0,3462 \cdot 0,10+0,2692 \cdot 0,00}$$

$$\mathbf{L6.2= 0,0538}$$

### T7.1 Centro Deportivo Municipal Pradillo

La infraestructura se marca en azul en el mapa:



*Ilustración 46 - Ubicación Centro Deportivo Municipal Pradillo*

**Tipología:** Centro Deportivo Municipal

**Dirección:** C. de Pradillo, 33, Chamartín, Madrid



Ilustración 47 - Espacio amplio en el acceso a Centro Deportivo Municipal Pradillo

### 1º Filtro Eliminatorio G

VL\_DEP\_SeguridadPCI (K): R1,7.1=1

**G7.1=1**

### 2º Variables Puntuables J

VL\_DEP\_EspacioDisponible= 40 → VLEspacio'=0,40

No hay espacio disponible, habría que habilitar algún almacén o buscar un espacio en los entornos comunes.

VL\_DEP\_EventosPunta = 85 → VLEventos'= 0,85

No afecta, el flujo de personas es regular.

VL\_DEP\_AccesoRodadoServicio = 20 → VLAcceso' = 0,20

No hay un acceso rodado. El polideportivo tiene en sus instalaciones un aparcamiento de residentes. Se podría habilitar alguna plaza pero esto afectaría al uso habitual



*Ilustración 48 - Acceso rodado al Centro Deportivo Municipal Pradillo*

**VL\_DEP\_EntornoSensibilidad = 0,35 → VLEntorno' = 0,35**

Entorno residencial. Sí se vería afectado por dotar al polideportivo de una segunda actividad.

### **3º Cálculo del índice Local Li**

$$w_t = [0,3077; 0,2615; 0,2308; 0,2000]$$

$$L7.1 = 0,2000 \cdot 0,40 + 0,2615 \cdot 0,85 + 0,3077 \cdot 0,20 + 0,2308 \cdot 0,35$$

$$L7.1 = 0,4446$$

**FASE 3 – ÍNDICE DE IDONEIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA  $S_i$**

Calculados todos los componentes de la Función de Idoneidad final ya se puede obtener el valor de cada Infraestructura Real para albergar una función logística de última milla. Este valor es  $S_i$  y es el resultado del producto del Índice Restrictivo  $G_i$ , el Índice Tipológico  $T_t$  y el índice Local  $L_i$ :

Tipología	Infraestructura real	$S_i = G_i \cdot T_t \cdot L_i$			
		$G_i$	$T_t$	$L_i$	$S_i = \text{IDONEIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA PARA ALBERGAR UN USO LOGÍSTICO EN LA ÚLTIMA MILLA}$
1. Aparcamiento público	Aparcamiento María de Molina	1	0,6063	0,5636	<b>0,3417</b>
	Aparcamiento Nuevos Ministerios	1		0,8545	<b>0,5181</b>
	Parking Santo Domingo de Silos	1		0,4636	<b>0,2811</b>
2. Aparcamiento privado	Aparcamiento EMT Ntra. Sra. del Recuerdo	1	0,5179	0,6396	<b>0,3312</b>
3. Estaciones de Metro	Estación Metro Santiago Bernabéu	1	0,6352	0,3889	<b>0,2470</b>
	Estación Metro Nuevos Ministerios	1		0,9112	<b>0,579</b>
4. Estaciones de tren	Estación de Chamartín (Renfe)	1	0,7984	0,7981	<b>0,6373</b>
5. Intercambiadores de transporte	Intercambiador Plaza Castilla	1	0,6499	0,8020	<b>0,5212</b>
6. Mercados municipales	Mercado Municipal Chamartín	1	0,8960	0,5596	<b>0,5014</b>
	Mercado Municipal San Cristóbal	1		0,0538	<b>0,0482</b>
7. Equipamientos deportivos	CDM Pradillo	1	0,5977	0,4446	<b>0,2657</b>

Tabla 18 - Índice de Idoneidad  $S_i$  de las infraestructuras estudiadas

## 8. Resultados

Una vez analizada cada infraestructura según sus Variables de Clase y sus Variables Locales y obtenido el índice de Idoneidad  $S_i$  para cada una de las ubicaciones del Caso de Estudio se procede a ordenar cada una por orden de idoneidad para albergar un uso logístico, de más a menos idóneas:

<b>Clasificación de las Infraestructuras de estudio según su idoneidad para albergar un uso logístico en la Última Milla</b>				
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>TIPOLOGÍA</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>IDONEIDAD (0-100)</b>
<b>1ª</b>	<b>Estación de Chamartín</b>	Estaciones de Tren	Calle Agustín de Foxá	<b>63,73</b>
<b>2ª</b>	<b>Metro Nuevos Ministerios</b>	Estaciones de Metro	Paseo de la Castellana, 65	<b>57,9</b>
<b>3ª</b>	<b>Intercambiador Plaza Castilla</b>	Intercambiadores de Transporte	Paseo de la Castellana 195	<b>52,12</b>
<b>4ª</b>	<b>Aparcamiento Nuevos Ministerios</b>	Aparcamiento Público	Paseo de la Castellana, 100	<b>51,81</b>
<b>5ª</b>	<b>Mercado Municipal Chamartín</b>	Mercado Municipal	Avenida de Pío XII, 2	<b>50,14</b>
<b>6ª</b>	<b>Aparcamiento María de Molina</b>	Aparcamiento Público	Calle María de Molina 27	<b>34,17</b>
<b>7ª</b>	<b>Aparcamiento EMT Nuestra Señora del Recuerdo</b>	Aparcamiento Privado	Calle de la Hiedra, 26	<b>33,12</b>
<b>8ª</b>	<b>Parking Santo Domingo de Silos</b>	Aparcamiento Público	Calle de Santo Domingo de Silos, 6	<b>28,11</b>
<b>9ª</b>	<b>Centro Deportivo Municipal Pradillo</b>	Equipamientos Deportivos	Calle de Pradillo, 33	<b>26,47</b>
<b>10ª</b>	<b>Estación de Metro Santiago Bernabéu</b>	Estaciones de Metro	Paseo de la Castellana, 97	<b>24,7</b>
<b>11ª</b>	<b>Mercado Municipal San Cristóbal</b>	Mercado Municipal	Calle de Torralba, 11	<b>4,82</b>

Tabla 19 - Resultados de Idoneidad de las Infraestructuras de estudio

Se observa que las infraestructuras que están mejor puntuadas y más arriba en la *Tabla 19* son aquellas que combinan un alto Índice Tipológico  $T_t$  con una elevada calidad Local  $L_i$ . Al contrario que las peor valoradas que, aunque el índice Tipológico sea elevado, se ven penalizadas por el índice Local. Esto es lo que pretende el modelo que, aunque la actividad que desarrolle la infraestructura parezca adecuada para albergar una función logística, es la valoración local la que mediante los atributos reales que la definen, acaba por considerarla más o menos favorable.

La Estación de Chamartín lidera el ranking con 63,7 puntos de 100:

La disponibilidad de espacios auxiliares, los flujos de viajeros, constantes y manejables y la ventana operativa, con un horario de servicio amplio han otorgado a las Estaciones de Tren una aptitud tipológica  $T_t$  elevada. A esto se le suma lo observado en la visita de campo donde se pudo ver que el emplazamiento tenía cualidades: acceso rodado a la estación para las operaciones de carga/descarga, locales disponibles y espacio para operar, además de ya desarrollar otras actividades distintas a la principal.

En el lado contrario está el Mercado Municipal de San Cristóbal con 4,8 puntos de 100:

En este caso la penalización viene del Índice Local  $L_i$ . Los Mercados como tipología no tienen un nivel tan bajo, pero es el emplazamiento el que no está preparado: no hay muelle o zona de carga y descarga, ni facilidad de acceso a las mercancías. Tampoco tiene espacio donde almacenar mercancías, el espacio está totalmente ocupado por la actividad que desarrolla.

Un caso llamativo es por qué la estación de Metro de Nuevos Ministerios tiene 57,9 puntos de 100 y en cambio el Metro Santiago Bernabéu, que es de la misma tipología, se encuentra al final de la tabla con 24,7 puntos:

La diferencia está en el índice Local  $L_i$ . Los atributos reales de cada infraestructura condicionan al Metro Santiago Bernabéu por la limitación espacial en los vestíbulos y un flujo de personas marcado por picos. En cambio, Nuevos Ministerios dispone de espacio, y está configurado de forma que la mercancía puede ser accesible y se puede mover sin interferir en el flujo de usuarios. Esta distinción de Condiciones Locales hace que se pueda priorizar dentro de una familia de infraestructuras.

En general, la clasificación demuestra que las tipologías de alto potencial son las que presentan espacios y accesos que facilitan el tránsito de las mercancías y no interfieren en los flujos. Es cuando la infraestructura carece de alguna condición básica cuando empieza a penalizarse y el índice local baja, reduciendo la idoneidad global, aunque por la tipología pareciera candidata.

Para concluir los resultados se incluye a continuación el resultado de localizar las infraestructuras en ArcMap, donde se pueden ubicar rápidamente y acceder a sus atributos para conocer la idoneidad real de cada una:

Se han introducido los valores de la Idoneidad  $S_i$  para cada punto en el mapa que representa una Infraestructura. Estos puntos tienen asociada una Tabla de atributos con sus características individuales, incluidos los Índices calculados. Se elige una "Rampa de Color" de más oscuro a

más claro para identificar fácilmente en el mapa dónde se ubican las infraestructuras con más características para adoptar una función logística:

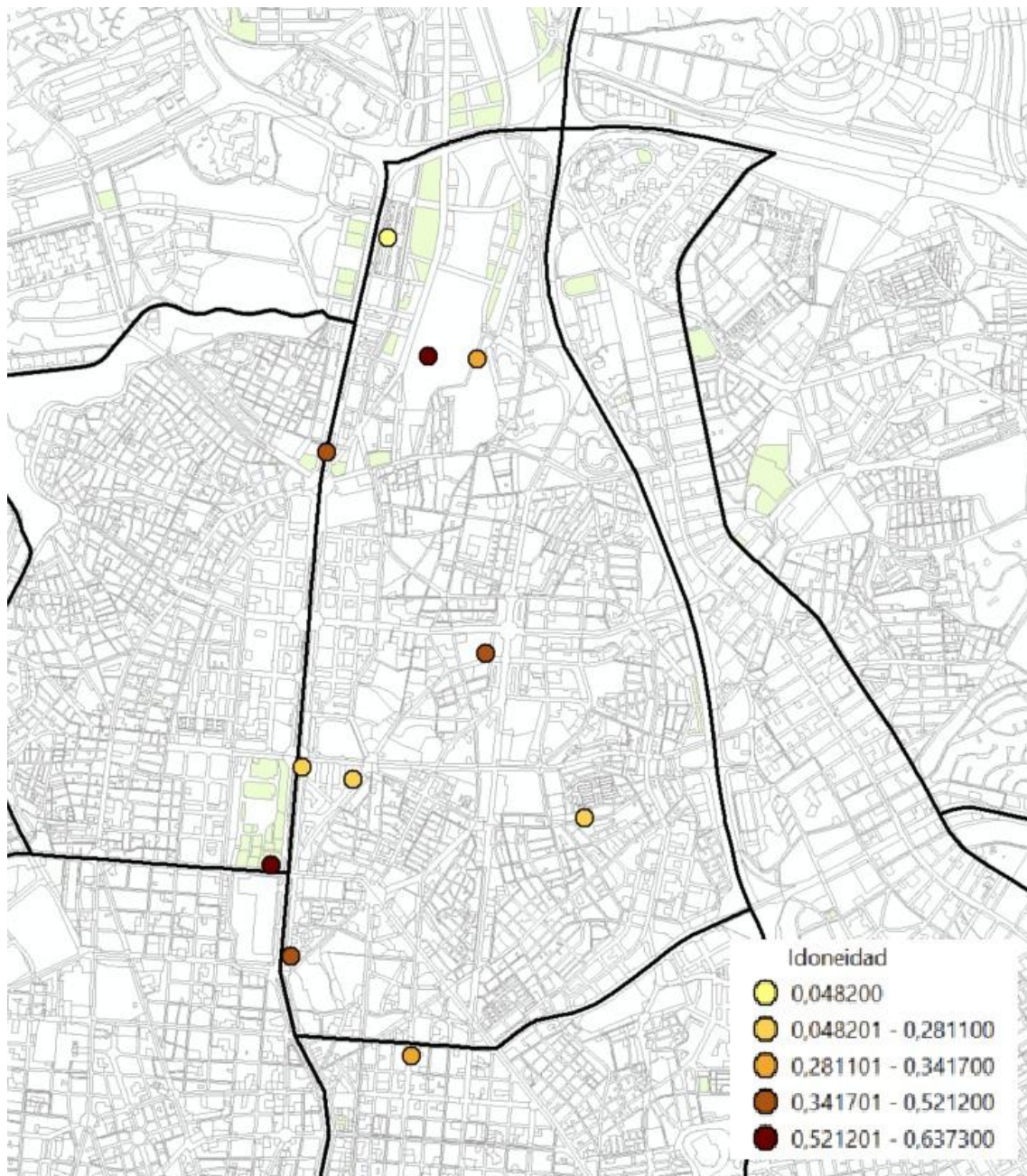


Ilustración 49 - Resultados en ArcMap

Los valores de la Tabla de Atributos se pueden consultar para que la Administración u Operador Logístico que piense en dar una utilidad logística a estas infraestructuras acceda fácilmente a la información resultante de la ponderación del modelo. Los datos de la tabla de atributos se han exportado en .txt para poder abrirlos en una hoja Excel y mostrar la información que contienen:

Dirección	Gi	Li	Tt	Idoneidad	DISTRITO	TIPOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
C. de Santo Domingo de Silos, 6, Chamartín, 28036 Madrid	1	0,6063	0,4636	0,2811	CHAMARTÍN	Aparcamiento Público	Gálibo bajo; maniobra difícil; espacio limitado; alta demanda; idoneidad baja.
Calle de María de Molina, 27, Chamartín, 28006 Madrid	1	0,6063	0,5636	0,3417	CHAMARTÍN	Aparcamiento Público	Gálibo bajo; maniobra difícil; espacio limitado; alta demanda; idoneidad baja.
P.º de la Castellana, 100, Chamartín, 28046 Madrid	1	0,6063	0,8545	0,5181	CHAMARTÍN	Aparcamiento Público	Buen gálibo/maniobra; espacio elevado; proximidad a demanda; potencial de reconversión.
C. de la Hiedra, 26	1	0,6396	0,5197	0,3312	CHAMARTÍN	Aparcamiento privado	Espacio medio-alto; acceso medio; bajo impacto vecinal; viabilidad por acuerdo del gestor.
Paseo de la Castellana, 65	1	0,3889	0,6352	0,579	CHAMARTÍN	Estaciones de metro	Vestíbulos amplios; usos comerciales; alta interconexión; baja interferencia relativa; operación viable
Paseo de la Castellana, 97	1	0,9112	0,6352	0,247	CHAMARTÍN	Estaciones de metro	Espacio reducido; picos de demanda; interferencia alta en hora punta; viabilidad baja para uso auxiliar.
Calle Agustín de Foxá	1	0,7981	0,7984	0,6373	CHAMARTÍN	Estaciones de Tren	Mucho espacio; accesos operativos; alta afluencia; seguridad/controles; usos comerciales internos.
Paseo de la Castellana 195	1	0,802	0,6499	0,5212	CHAMARTÍN	Intercambiadores de Transporte	Nodo intermodal; espacio alto; accesos de servicio; flujos intensos; interferencia moderada controlable.
Calle de Bolivia, 9	1	0,5596	0,896	0,5014	CHAMARTÍN	Mercados Municipales	Sin muelle dedicado; almacén disponible; acceso con ventana/aparcamiento; demanda próxima; operación condicionada.
Calle de Torralba, 11	1	0,0538	0,896	0,0482	CHAMARTÍN	Mercados Municipales	Sin carga/descarga; sin acceso reparto; espacio mínimo; logística prácticamente inviable.
Calle de Pradillo, 33	1	0,4446	0,5977	0,2657	CHAMARTÍN	Equipamientos deportivos	Espacio justo; acceso rodado pobre; entorno sensible; flujo regular; operación logística limitada.

Tabla 20 - Tabla de Resultados en ArcMap

## 9. Conclusión y nuevas líneas de investigación

Este Trabajo Fin de Máster ha planteado el aprovechamiento de infraestructuras urbanas existentes para su aprovechamiento y uso como nodo logístico dentro del marco de la Última Milla.

Se ha abordado el reto de la logística urbana en este tramo marcado por las complicaciones que surgen sobre todo en las ciudades densamente pobladas y donde la limitación de espacio y las restricciones ambientales han obligado a buscar e ingeniar alternativas a los modelos de distribución de mercancías habituales.

Como respuesta al reto planteado antes de introducirse en la metodología y tras los resultados obtenidos tras investigar y crear una metodología más tarde aplicada al caso de estudio, se puede responder que:

***Sí es posible evaluar de manera estructurada y reproducible la idoneidad de una infraestructura urbana que quiera albergar usos logísticos a través de una metodología basada en criterios objetivos, apoyada en herramientas SIG y técnicas de análisis multicriterio (MCDM).***

Ahora cualquier administración o empresa logística que esté pensando en buscar una alternativa a la construcción u adquisición de un espacio logístico a las afueras de la ciudad puede encontrar en este TFM una solución para asentarse en la malla urbana y decidir qué espacio le conviene más o menos para invertir en mejorar la calidad de la distribución de mercancías.

En este punto del trabajo y analizados los resultados obtenidos se procede a valorar:

***¿Se ha logrado cumplir con los objetivos planteados de cara al desarrollo del trabajo?***

- ✓ Se ha podido comprender y explicar el funcionamiento y las limitaciones de la Última Milla en entornos urbanos.
- ✓ Se ha conseguido identificar y clasificar un amplio conjunto de tipologías de infraestructuras urbanas y se han podido evaluar mediante criterios que las representen por su potencial logístico teórico.
- ✓ Se ha podido desarrollar una potente metodología de evaluación que sea sistemática y reproducible en cualquier ciudad del mundo y así transformar lo que era un problema en un proceso analítico con una estructura ordenada.

El haber aplicado la metodología creada a un caso real de estudio y trasladarlo a Madrid, en

concreto al distrito de Chamartín ha servido de base para ver por primera vez sobre el papel cómo siguiendo unos pasos se ha llegado a un valor final, el denominado Índice de Idoneidad  $S_i$  valorando infraestructuras reales. Desde esta base siempre se puede mejorar el modelo tomando las referencias que he creado y pulirlo a manos de cualquier usuario que busque el fin de este trabajo, evaluar infraestructuras de una forma este trabajo, evaluar infraestructuras de una forma fácil y reproducible, con resultados numéricos de variables que no eran hasta ahora medibles.

Además, poder apoyarse en una herramienta cartográfica como ArcMap y localizar las infraestructuras en su ubicación exacta y con los resultados y descripción de cada una dentro de un mapa, ayuda a comprender de puertas para afuera los resultados sin necesidad de comprender la metodología.

No obstante, y a pesar de los resultados obtenidos, siempre quedan puertas abiertas a la mejora y líneas de investigación que hagan el modelo aún más sólido:

- ? Una de las líneas a seguir ahora es: Ya conseguido valorar las infraestructuras por su potencial, ¿hay forma de vincular este índice de idoneidad a un uso logístico específico? Cada tipo de infraestructura puede ser más adecuada para determinados usos, por eso se plantea de cara a futuro el desarrollo de un modelo que también aplique MCDM y pueda servirse de las Variables diseñadas para este trabajo y que designe una funcionalidad a partir del conjunto de criterios que definen a la o las infraestructuras de estudio.

En definitiva, este Trabajo Fin de Máster demuestra que hay alternativas para mejorar el problema al que grandes organismos se enfrentan diariamente y no pasa por construir de más, sino por apoyarse en lo que ya existe.

La clave para el futuro no es añadir infraestructuras, es aprovechar las que existen con inteligencia.

## 10. Bibliografía

Se muestra por orden alfabético las referencias que han servido de apoyo para adquirir información de valor y redactar este TFM:

ABC. *Los paquetes vuelan en el Metro de Madrid: el atasco se queda en la superficie*, [Documento en línea]. 1 octubre 2024. Disponible en: <https://www.abc.es/espana/madrid/paquetes-vuelan-metro-madrid-atasco-queda-superficie-20241001163754-nt.html>. [Consulta: marzo 2026].

ARANGOYA. *La importancia de la última milla en el mundo globalizado*, [Documento en línea]. 2025. Disponible en: <https://arangoya.org/importancia-de-la-logistica-de-ultima-milla-en-un-mundo-globalizado/>. [Consulta: febrero 2026].

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES Y DISTRIBUIDORES (AECOC). *Estudio sobre la distribución urbana de mercancías en grandes áreas metropolitanas*, [Documento en línea]. 2020. Disponible en: [https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-otle/media/document/monografico\\_otle\\_2019\\_movilidad\\_urbana\\_y\\_metropolitana\\_1.pdf](https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-otle/media/document/monografico_otle_2019_movilidad_urbana_y_metropolitana_1.pdf). [Consulta: enero 2026].

AYUNTAMIENTO DE MADRID. *Ordenanza 10/2021, de 13 de septiembre, por la que se modifica la Ordenanza de Movilidad Sostenible*, [Documento en línea]. 2021. Disponible en: [https://transparencia.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/Quizas/NuevaOrdenanza/ficheros\\_sept\\_2021/Ordenanza\\_Movilidad\\_TEXTO\\_DICTAMINADO\\_EN\\_COMISI%C3%93N.pdf](https://transparencia.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/Quizas/NuevaOrdenanza/ficheros_sept_2021/Ordenanza_Movilidad_TEXTO_DICTAMINADO_EN_COMISI%C3%93N.pdf). [Consulta: enero 2026].

AYUNTAMIENTO DE MADRID. *La población de Madrid se incrementa en 120.560 habitantes en 2023 y supera los 3.460.000*, [Documento en línea]. 2024. Disponible en: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Actualidad/Noticias/La-poblacion-de-Madrid-se-incrementa-en-120-560-habitantes-en-2023-y-supera-los-3-460-000/?vgnnextfmt=default&vgnextoid=b062b6ad788cf810VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnnextchannel=a12149fa40ec9410VgnVCM100000171f5a0aRCRD>. [Consulta: febrero 2026].

AYUNTAMIENTO DE MADRID. *Madrid Zona de Bajas Emisiones (ZBE)*, [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Zonas-de-Bajas-Emisiones/Madrid-Zona-de-Bajas-Emisiones/Madrid-Zona-de-Bajas-Emisiones-ZBE-/?vgnnextfmt=default&vgnextoid=93e63877029eb710VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnnextchannel=d2d2edf0f70ab710VgnVCM2000001f4a900aRCRD>. [Consulta: marzo 2026].

CITIBOX. *Problemas de la última milla: retos de la logística urbana*, [Documento en línea]. Disponible en: <https://citibox.com/es/blog/problemas-ultima-milla>. [Consulta: marzo 2026].

CITYLOGIN. *Los beneficios de la colaboración público-privada*, [Documento en línea]. 2024. Disponible en: <https://citylogin.es/los-beneficios-de-la-colaboracion-publico-privada/>. [Consulta: febrero 2026].

CLAVEI. *¿Qué es B2C?*, [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.clavei.es/que-es/b2c/>. [Consulta: enero 2026].

CNMC. *Informe anual del sector postal*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://www.cnmc.es/sites/default/files/5436771.pdf>. [Consulta: febrero 2026].

CNMC. *Informe anual postal*, [Documento en línea]. 2025. Disponible en: <https://www.cnmc.es/prensa/informe-anual-postal-20250731>. [Consulta: marzo 2026].

COMERCIO CONECTADO. *Impacto y evolución de la logística de última milla en el auge del comercio electrónico*, [Documento en línea]. 2024. Disponible en: <https://comercioconectado.gob.es/eu-es/EstaPasando/Paginas/Impacto-y-Evoluci%C3%B3n-de-la-Log%C3%ADstica-de-%C3%9Altima-Milla-en-el-Auge-del-Comercio-Electr%C3%B3nico.aspx>. [Consulta: febrero 2026].

COMUNIDAD DE MADRID. *Plan de Movilidad Sostenible*, [Documento en línea]. 2019. Disponible en: [https://www.comunidad.madrid/transparencia/sites/default/files/regulation/documents/22-018\\_220131e\\_plan\\_movilidad\\_sostenible\\_360.pdf](https://www.comunidad.madrid/transparencia/sites/default/files/regulation/documents/22-018_220131e_plan_movilidad_sostenible_360.pdf). [Consulta: enero 2026].

COMUNIDAD DE MADRID. *Modificación de estatutos de Metro para transporte de paquetería*, [Documento en línea]. 2025. Disponible en: <https://www.comunidad.madrid/noticias/2025/07/23/comunidad-madrid-modifica-estatutos-metro-permitir-transporte-paqueteria-suburbano-finales-este-ano>. [Consulta: febrero 2026].

COMUNIDAD DE MADRID. *Inversión extranjera directa en 2024*, [Documento en línea]. 11 noviembre 2025. Disponible en: <https://www.comunidad.madrid/noticias/2025/11/11/comunidad-madrid-concentro-cerca-70-inversion-extranjera-directa-espana-2024-24000-millones-euros>. [Consulta: marzo 2026].

COMUNIDAD DE MADRID. Subdirección General de Planificación Regional. *Evolución de la ocupación del suelo en la Comunidad de Madrid (1956-2005)*, [Documento en línea]. 2006.

Disponible en: [https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/aud/urbanismo/cma\\_urb\\_evolucion\\_1956\\_2005\\_ocupacion\\_suelo\\_cm.pdf](https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/aud/urbanismo/cma_urb_evolucion_1956_2005_ocupacion_suelo_cm.pdf). [Consulta: enero 2026].

CORREOS EXPRESS. *Tendencias e-commerce 2025-2026*, [Documento en línea]. 2025. Disponible en: [https://www.correosexpress.com/concursos/TendenciasEcommerce\\_CorreosExpress\\_v2.pdf](https://www.correosexpress.com/concursos/TendenciasEcommerce_CorreosExpress_v2.pdf). [Consulta: febrero 2026].

CRUZ DE LA PRIDA, S. *Alteraciones logísticas metropolitanas*, [Trabajo Fin de Grado en línea]. 2020. Universidad Politécnica de Madrid. Disponible en: [https://oa.upm.es/58063/1/TFG\\_20\\_Cruz\\_de%20la%20Prida\\_Sergio1de2.pdf](https://oa.upm.es/58063/1/TFG_20_Cruz_de%20la%20Prida_Sergio1de2.pdf). [Consulta: enero 2026].

CUSHMAN & WAKEFIELD; P3 LOGISTIC PARKS. *Total Last Link Cost (TLLC): Delivering the goods in the city*, [Documento en línea]. 2017. Disponible en: <https://www.cushmanwakefield.com/>. [Consulta: enero 2026].

DABLANC, L. Goods transport in large European cities: Difficult to organize, difficult to modernize. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2007, vol. 41, no. 3, p. 280-285.

DEMIR, E.; SYNTETOS, A.; VAN WOENSEL, T. Last mile logistics: Research trends and needs. *IMA Journal of Management Mathematics*, 2022, vol. 33, no. 4, p. 549-561.

DE OLIVEIRA, L. K., et al. Challenges to urban freight transport in historical cities. *Transportation Research Procedia*, 2019, vol. 39, p. 370-380.

ECOLOGISTAS EN ACCIÓN. *Las principales ciudades superaron en 2025 el nuevo límite legal de contaminación*, [Documento en línea]. 2026. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/354860/las-principales-ciudades-superaron-en-2025-el-nuevo-limite-legal-de-contaminacion-por-dioxido-de-nitrogeno/>. [Consulta: marzo 2026].

EL CORREO. *Las horas del tranvía tras el reparto de mercancías*, [Documento en línea]. 17 octubre 2021. Disponible en: <https://www.elcorreo.com/bizkaia/horas-tranvia-tras-20211017163733-nt.html>. [Consulta: diciembre 2025].

ENVÍAME. *La logística urbana: un reto para las ciudades del siglo XXI*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://enviame.io/la-logistica-urbana-un-reto-para-las-ciudades-del-siglo-xxi/>. [Consulta: febrero 2026].

EPDATA. *Evolución de la población*, [Documento en línea]. 2025. Disponible en: <https://www.epdata.es>. [Consulta: marzo 2026].

EUROSTAT. *Urban centre*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Urban\\_centre](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Urban_centre). [Consulta: enero 2026].

EUROSTAT. *Urban-rural Europe – introduction*, [Documento en línea]. Disponible en: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Urban-rural\\_Europe\\_-\\_introduction](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Urban-rural_Europe_-_introduction). [Consulta: diciembre 2025].

EXPANSIÓN. *Sostenibilidad, digitalización y nuevos hábitos de consumo*, [Documento en línea]. 2 octubre 2025. Disponible en: <https://www.expansion.com/economia/2025/10/02/68dedd35e5fdea50158b4591.html>. [Consulta: marzo 2026].

FLÓREZ OVIEDO, N. E.; LÓPEZ HINCAPIÉ, E. Evolución de la logística de la última milla. *Ingeniería Industrial*, 2023, vol. 44, no. 2, p. 1–14.

GEVAERS, R.; VAN DE VOORDE, E.; VANELSLANDER, T. Cost modelling and simulation of last-mile characteristics. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2014, vol. 125, p. 398-411.

INE. *Censo de Población y Viviendas 2011*, [Documento en línea]. 2013. Disponible en: [https://www.ine.es/prodyser/PDFCifrasINE/es/cfr\\_01\\_2013.pdf](https://www.ine.es/prodyser/PDFCifrasINE/es/cfr_01_2013.pdf). [Consulta: enero 2026].

INFORMACIÓN LOGÍSTICA. *La descarbonización de la última milla lejos de las cifras europeas*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://informacionlogistica.com/la-descarbonizacion-de-la-ultima-milla-lejos-de-las-cifras-europeas/>. [Consulta: febrero 2026].

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. *Demografía y población*, [Documento en línea]. Disponible en: [https://www.ine.es/dyngs/INEbase/categoria.htm?c=Estadistica\\_P&cid=1254735976607](https://www.ine.es/dyngs/INEbase/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254735976607). [Consulta: marzo 2026].

LOGISTIKO. *Logística de última milla: qué es y por qué es importante*, [Documento en línea]. 2024. Disponible en: <https://logistiko.es/blog/logistica-de-ultima-milla-que-es/>. [Consulta: febrero 2026].

MOOEVO. *Centros de consolidación urbana*, [Documento en línea]. Disponible en: <https://mooevo.com/shop/logistica/centros-de-consolidacion-urbana/>. [Consulta: enero 2026].

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA. *El transporte urbano*, [Documento en línea]. 2013. Disponible en: [https://www.transportes.gob.es/recursos\\_mfom/el\\_transporte\\_urbano.pdf](https://www.transportes.gob.es/recursos_mfom/el_transporte_urbano.pdf). [Consulta: enero 2026].

MITECO. *Transporte: mitigación, políticas y medidas frente al cambio climático*, [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.html>. [Consulta: marzo 2026].

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE. *Circulación de vehículos pesados en Francia*, [Documento en línea]. 2025. Disponible en: [https://www.bison-fute.gouv.fr/IMG/pdf/BisonFute\\_Brochure\\_vehicules\\_lourds\\_ES\\_2025\\_print\\_F.pdf](https://www.bison-fute.gouv.fr/IMG/pdf/BisonFute_Brochure_vehicules_lourds_ES_2025_print_F.pdf). [Consulta: febrero 2026].

MONTOLIÚ, P. (Coord.). *Madrid, medio siglo de desarrollo urbano (1973-2023)*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://xn--institutoestudiosmadrileos-4rc.es/wp-content/uploads/2024/06/MADRID-MEDIO-SIGLO-desarrollo-urbano-internet.pdf>. [Consulta: enero 2026].

MOVILIDAD SOSTENIBLE. *La última milla: un reto para las empresas*, [Documento en línea]. 2022. Disponible en: <https://www.movilidadsostenible.com.es/la-ultima-milla-un-reto-para-las-empresas/>. [Consulta: febrero 2026].

MUÑUZURI, J., et al. Impacts of a tracking and tracing system. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 2016, vol. 13, no. 3, p. 352-359.

NOVOCARGO. *Última milla en áreas urbanas*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://www.novocargo.com/ultima-milla-en-areas-urbanas/>. [Consulta: febrero 2026].

OECD. *E-commerce in the time of COVID-19*. París: OECD Publishing, 2021.

RODRIGUE, J. P.; COMTOIS, C.; SLACK, B. Transportation and the spatial structure. En: *The Geography of Transport Systems*, 2020, p. 56-89.

SEGURA, V., et al. *The future of the last-mile ecosystem*, [Documento en línea]. Deloitte, 2020. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/>. [Consulta: enero 2026].

SILVA, V.; AMARAL, A.; FONTES, T. Sustainable urban last-mile logistics. *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 3, p. 2285.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R. G.; YAMADA, T. New opportunities and challenges for city

logistics. *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 12, p. 5-13.

TRANSPORTE INMEDIATO. *El reto de la última milla en ciudades congestionadas*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://transporte-inmediato.com/el-reto-de-la-ultima-milla-en-ciudades-congestionadas-soluciones-para-entregas-rapidas-y-eficaces/>. [Consulta: febrero 2026].

UBYKO. *¿Cuánto cuesta la última milla?*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://www.ubyko.com/blog-ubyko/cuanto-cuesta-la-ultima-milla>. [Consulta: febrero 2026].

UNIVERSIDAD EUROPEA. *¿Qué es la logística inversa y para qué sirve?*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-logistica-inversa/>. [Consulta: enero 2026].

UNIVERSIDAD EUROPEA. *¿Qué es la última milla y por qué es clave en la logística?*, [Documento en línea]. 2023. Disponible en: <https://universidadeuropea.com/blog/ultima-milla/>. [Consulta: enero 2026].

URBAN ACCESS REGULATIONS. *London urban access regulations*, [Documento en línea]. Disponible en: <https://es.urbanaccessregulations.eu/countries-mainmenu-147/united-kingdom-mainmenu-205/london>. [Consulta: marzo 2026].

## ANEJO 1- Anejo de Cálculos

### Cálculo de los resultados del Índice Tipológico

En este anejo se desglosa paso a paso los cálculos que se han realizado para obtener los valores del Índice Tipológico  $T_t$  de cada Tipología de estudio:

T	Tipología	Índice Tipológico $T_t$
1	Aparcamiento público	0,6063
2	Aparcamiento privado	0,5179
3	Estaciones de metro	0,6352
4	Estaciones de tren	0,7984
5	Intercambiadores de transporte	0,6499
6	Mercados municipales	0,8960
7	Equipamientos deportivos	0,5977

### Tipología T1- Aparcamiento público

#### 1º. Criterios y comparación según Saaty

Para una tipología concreta, AHP requiere 10 comparaciones (porque 5 criterios  $\rightarrow 5 \cdot 4 / 2 = 10$ ). Estos valores se construyen según la escala fundamental de Saaty (Tabla 10). Se comparan las Variables de Clase entre sí en cuanto a cuál de ellas tiene más importancia para la Tipología de estudio:

T1 - Aparcamiento público				
VARIABLE DE CLASE 1	Vs	VARIABLE DE CLASE 2	Valor	Justificación
ACCESIBILIDAD	Vs	FLUJOS	9	La logística depende más de poder operar con vehículos y accesos que del flujo.
ACCESIBILIDAD		HORARIOS	7	Los accesos para la operatividad pesan más que el horario del aparcamiento.
ACCESIBILIDAD		FLEXIBILIDAD	3	Si no hay un buen acceso el acceso no se puede aprovechar al máximo
ACCESIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	1	Tanto el acceso como las restricciones limitan tanto si son un impedimento.
FLUJOS		HORARIOS	1/3	Para operar el horario pesa más que los flujos.
FLUJOS		FLEXIBILIDAD	1/5	Por mucho que haya flujo, si no hay espacio no se opera.
FLUJOS		COMPATIBILIDAD	1/5	Las restricciones pesan más que el flujo.

HORARIO		FLEXIBILIDAD	3	El horario, sea amplio o no, no pesa tanto como el espacio para operar.
HORARIO		COMPATIBILIDAD	1/5	Las restricciones pueden bloquear la actividad logística; pesan más que el horario.
FLEXIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	1	Tanto una como otra son esenciales para operar.

### 2º Construcción de la Matriz A

Con los valores comparativos entre variables se construye la matriz A de comparación por pares:

1	9	7	3	1
1/9	1	1/3	1/5	1/5
1/7	3	1	3	1/5
1/3	5	1/3	1	1
1	5	5	1	1

### 3º Normalización de la Matriz A y obtención del vector v

Para obtener pesos se debe normalizar. En primer lugar, se suman las columnas de la Matriz A:

$$\sum \text{col}(\text{ACC}) = 2,5873$$

$$\sum \text{col}(\text{FLU}) = 23,0000$$

$$\sum \text{col}(\text{HOR}) = 13,6667$$

$$\sum \text{col}(\text{FLEX}) = 8,2000$$

$$\sum \text{col}(\text{COMP}) = 3,4000$$

Se normaliza por columnas y se divide cada elemento de la matriz A la suma de cada columna por el número de elementos. Se obtiene la matriz A´:

0,3865	0,3913	0,5122	0,3659	0,2941
0,0429	0,0435	0,0244	0,0244	0,0588
0,0522	0,1304	0,0732	0,3659	0,0588
0,1288	0,2174	0,0244	0,122	0,2941
0,3685	0,2174	0,3659	0,122	0,2941

De la matriz A´ se calcula el peso de cada criterio como la media de cada fila y se obtiene el vector **v** que es el vector normalizado y cuya suma debe ser 1. De este vector se obtiene el peso de cada variable para la tipología T1. Se obtiene así el vector **v**:

$$v_{ACC}=0,3900$$

$$v_{FLU}=0,0388$$

$$v_{HOR}=0,1367$$

$$v_{FLEX}=0,1573$$

$$v_{COMP}=0,2772$$

#### 4º Asignar los valores normalizados de $VC_{m,t'}$

Como se indica en la FASE 7 en el apartado 4º de las variables de clase, se ha definido una escala por clases. Para cada una de las 5 variables de cada tipología se le asignará un valor (Clase) en función de cuánto cumpla cada criterio según la infraestructura. Es decir, cuánto se desarrolla la cada Variable de Clase en cada infraestructura.

Para la infraestructura T1 Aparcamientos públicos los valores normalizados VC' son:

$$ACC = 0,75$$

$$FLU = 0,75$$

$$HOR = 1,00$$

$$FLEX = 0,50$$

$$COMP = 0,25$$

#### 5º Cálculo de $T_t$

Es la suma del producto del vector  $v$  que caracterizaba el peso de cada variable por el valor normalizado  $VC_{m,t'}$  para las 5 variables de la tipología:

$$T_t (T1) = \sum v_m \cdot VC_{m,T1'} = v^*V_{1m,t'} + v^*V_{2m,t'} + v^*V_{3m,t'} + v^*V_{4m,t'} + v^*V_{5m,t'}$$

$$T_t (T1) = 0,3900 \cdot 0,75 + 0,0388 \cdot 0,75 + 0,1367 \cdot 1,00 + 0,1573 \cdot 0,50 + 0,2772 \cdot 0,25$$

$$T_t (T1) = 0,6063$$

## 6º Resultados

Una vez concluida la ponderación de AHP para la Tipología 1 Aparcamientos públicos se concluye que su Índice Tipológico es  $T_t = 0,6063$ . Este valor se incluirá en la Función de Idoneidad  $S_i$  como componente tipológica para todas las infraestructuras concretas que sean Aparcamientos Públicos.

### Tipología T2 – Aparcamientos Privados

#### 1º. Criterios y comparación según Saaty

Los 10 valores comparativos se construyen según la escala fundamental de Saaty:

T2 - Aparcamiento privado				
VARIABLE DE CLASE 1	Vs	VARIABLE DE CLASE 2	Valor	Justificación
ACCESIBILIDAD	Vs	FLUJOS	5	La logística depende más de poder operar con vehículos y accesos que del flujo. En un aparcamiento privado los flujos se pueden controlar mejor.
ACCESIBILIDAD		HORARIOS	3	Los accesos para la operatividad pesan más que el horario. El horario del aparcamiento privado puede modificarse según beneficie al propietario.
ACCESIBILIDAD		FLEXIBILIDAD	1/3	El espacio puede reprogramarse si conviene. Sin ese espacio, la accesibilidad no sirve.
ACCESIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	1/5	Las limitaciones o restricciones en un aparcamiento suelen ser un impedimento.
FLUJOS		HORARIOS	1/3	Para operar el horario pesa más que los flujos.
FLUJOS		FLEXIBILIDAD	1/7	Por mucho que haya flujo, si no hay espacio no se opera.
FLUJOS		COMPATIBILIDAD	1/7	Las restricciones pesan más que los flujos.
HORARIO		FLEXIBILIDAD	1/5	El horario, sea amplio o no, no pesa tanto como el espacio para operar.
HORARIO		COMPATIBILIDAD	1/5	Las restricciones pueden bloquear la actividad logística; pesan más que el horario.

FLEXIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	<b>1/3</b>	La compatibilidad en esta tipología es un reto, aunque de nada sirve sin flexibilidad de espacio que también pesa bastante.
--------------	--	----------------	------------	---

**Lo que más condiciona: COMP** por necesidad de acuerdos y límites de uso > FLEX Porque se puede habilitar el área sin interferir > ACC entrada, carga y descarga, maniobras > **FLU y HOR** no dominan en general

### 2º Construcción de la Matriz A

Orden de criterios: [ACC, FLU, HOR, FLEX, COMP]

1	5	3	1/3	1/5
1/5	1	1/3	1/7	1/7
1/3	3	1	1/5	1/5
3	7	5	1	1/3
5	7	5	3	1

### 3º Normalización de la Matriz A y obtención del vector v

Para obtener pesos se debe normalizar. En primer lugar, se suman las columnas de la Matriz A:

$$\sum \text{col(ACC)} = 9,866$$

$$\sum \text{col(FLU)} = 23,000$$

$$\sum \text{col(HOR)} = 14,333$$

$$\sum \text{col(FLEX)} = 4,676$$

$$\sum \text{col(COMP)} = 1,876$$

Se normaliza por columnas y se divide cada elemento de la matriz A la suma de cada columna por el número de elementos. Se obtiene la matriz A':

<b>0,1014</b>	<b>0,2174</b>	<b>0,2093</b>	<b>0,0713</b>	<b>0,1066</b>
<b>0,0203</b>	<b>0,0435</b>	<b>0,0233</b>	<b>0,0306</b>	<b>0,0760</b>
<b>0,0338</b>	<b>0,1304</b>	<b>0,0698</b>	<b>0,0428</b>	<b>0,1066</b>
<b>0,3041</b>	<b>0,3043</b>	<b>0,3488</b>	<b>0,2139</b>	<b>0,1777</b>
<b>0,5068</b>	<b>0,3043</b>	<b>0,3488</b>	<b>0,6418</b>	<b>0,5331</b>

Se obtiene el vector de pesos v como la media de cada fila de A':

$$v_{\text{ACC}} = 0,1412$$

$$vFLU=0,0387$$

$$vHOR=0,0767$$

$$vFLEX=0,2698$$

$$vCOMP=0,4666$$

#### 4º Asignar los valores normalizados de $VC_{m,t'}$

Para la infraestructura T2 Estaciones de Metro los valores normalizados  $VC'$  son:

$$ACC = 1,00$$

$$FLU = 0,50$$

$$HOR = 0,50$$

$$FLEX = 0,75$$

$$COMP = 0,25$$

#### 5º Cálculo de $T_t$

$$T_t (T2) = \sum v_m \cdot VC_{m,T2'} = v \cdot V_{1m,t'} + v \cdot V_{2m,t'} + v \cdot V_{3m,t'} + v \cdot V_{4m,t'} + v \cdot V_{5m,t'}$$

$$T_t (T2) = 0,1412 \cdot 1,00 + 0,0387 \cdot 0,50 + 0,0767 \cdot 0,50 + 0,2698 \cdot 0,75 + 0,4666 \cdot 0,25$$

$$T_t (T2) = 0,5179$$

### Tipología T3 – Estaciones de Metro

#### 1º. Criterios y comparación según Saaty

Los 10 valores comparativos se construyen según la escala fundamental de Saaty:

T3 - Estaciones de Metro				
VARIABLE DE CLASE 1	Vs	VARIABLE DE CLASE 2	Valor	Justificación
ACCESIBILIDAD	Vs	FLUJOS	3	Para operar una actividad logística la accesibilidad pesa más que los flujos. Aún así en una estación de metro que hay que garantizar un orden en los flujos de usuarios.
ACCESIBILIDAD		HORARIOS	3	Los accesos para la operatividad pesan más que el horario. El horario de metro es amplio.
ACCESIBILIDAD		FLEXIBILIDAD	1	El espacio puede reprogramarse si conviene. Sin ese espacio, la accesibilidad no sirve.
ACCESIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	1	El espacio y las restricciones tienen el mismo peso.
FLUJOS		HORARIOS	1/3	Si el horario es insuficiente, el flujo se inutiliza.
FLUJOS		FLEXIBILIDAD	5	Controlar bien los flujos pesa más en esta infraestructura dedicada al movimiento de viajeros.
FLUJOS		COMPATIBILIDAD	1/5	Las restricciones. Si no hay acuerdo el flujo no vale.
HORARIO		FLEXIBILIDAD	1/3	El horario, sea amplio o no, no pesa tanto como el espacio para operar.
HORARIO		COMPATIBILIDAD	1/5	Las restricciones pueden bloquear la actividad logística; pesan más que el horario.
FLEXIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	3	Poder encajar un espacio en estas instalaciones pesa más que las restricciones.

#### 2º Construcción de la Matriz A

Orden de criterios: [ACC, FLU, HOR, FLEX, COMP]

1	3	3	1	1
1/3	1	1/3	5	1/5
1/3	3	1	1/3	1/5
1	1/5	3	1	3
1	5	5	1/3	1

### 3º Normalización de la Matriz A y obtención del vector $v$

Para obtener pesos se debe normalizar. En primer lugar, se suman las columnas de la Matriz A:

$$\sum \text{col(ACC)} = 3,667$$

$$\sum \text{col(FLU)} = 12,000$$

$$\sum \text{col(HOR)} = 12,333$$

$$\sum \text{col(FLEX)} = 7,6667$$

$$\sum \text{col(COMP)} = 5,400$$

Se normaliza por columnas y se divide cada elemento de la matriz A la suma de cada columna por el número de elementos. Se obtiene la matriz  $A'$ :

0,2727	0,2459	0,2432	0,1304	0,1852
0,0909	0,0820	0,0270	0,6522	0,0370
0,0909	0,2549	0,0811	0,0435	0,0370
0,2727	0,0164	0,2432	0,1304	0,5556
0,2727	0,4098	0,4054	0,0435	0,1852

Se obtiene el vector de pesos  $v$  como la media de cada fila de  $A'$ :

$$v_{\text{ACC}} = 0,2155$$

$$v_{\text{FLU}} = 0,1778$$

$$v_{\text{HOR}} = 0,0997$$

$$v_{\text{FLEX}} = 0,2437$$

$$v_{\text{COMP}} = 0,2663$$

### 4º Asignar los valores normalizados de $VC_{m,t'}$

Para la infraestructura T2 Estaciones de Metro los valores normalizados  $VC'$  son:

$$\mathbf{ACC} = 0,50$$

$$\mathbf{FLU} = 0,75$$

$$\mathbf{HOR} = 0,75$$

$$\mathbf{FLEX} = 0,50$$

$$\mathbf{COMP} = 0,75$$

### 5º Cálculo de $T_t$

$$T_t (T3) = \sum v_m \cdot VC_{m,T3} = v^*V_{1m,t'} + v^*V_{2m,t'} + v^*V_{3m,t'} + v^*V_{4m,t'} + v^*V_{5m,t'}$$

$$T_t (T3) = 0,2155 \cdot 0,50 + 0,1778 \cdot 0,75 + 0,0997 \cdot 0,75 + 0,2437 \cdot 0,50 + 0,2633 \cdot 0,75$$

$$T_t (T3) = 0,6352$$

## Tipología T4- Estaciones de Renfe

### 1º. Criterios y comparación según Saaty

Los 10 valores comparativos se construyen según la escala fundamental de Saaty:

T4 - Estaciones de Tren				
VARIABLE DE CLASE 1	Vs	VARIABLE DE CLASE 2	Valor	Justificación
ACCESIBILIDAD	Vs	FLUJOS	1/3	En estaciones de tren, la presencia de grandes flujos aporta más valor.
ACCESIBILIDAD		HORARIOS	1/3	Los horarios de operación pesan más que la accesibilidad.
ACCESIBILIDAD		FLEXIBILIDAD	1/3	Si no hay espacio que habilitar, la accesibilidad no tiene uso.
ACCESIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	1/5	Las restricciones, la seguridad, los controles pueden bloquear el uso logístico.
FLUJOS		HORARIOS	1	Para la operació, flujos y horarios pesan lo mismo.
FLUJOS		FLEXIBILIDAD	1/3	Los espacios suelen condicionar más que los flujos.
FLUJOS		COMPATIBILIDAD	1/3	La restricciones. Si no hay acuerdo el flujo no vale.
HORARIO		FLEXIBILIDAD	1/3	El horario, sea amplio o no, no pesa tanto como el espacio para operar.
HORARIO		COMPATIBILIDAD	1/3	Las restricciones pueden bloquear la actividad logística; pesan más que el horario.
FLEXIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	1/3	En estas estaciones suele ser más el problema de restricciones al espacio.

### 2º Construcción de la Matriz A

Orden de criterios: [ACC, FLU, HOR, FLEX, COMP]

1	1/3	1/3	1/3	1/5
3	1	3	1/3	1/3
3	1	1	1/3	1/3
3	3	3	1	1/3
5	3	3	3	1

### 3º Normalización de la Matriz A y obtención del vector $v$

Para obtener pesos se debe normalizar. En primer lugar, se suman las columnas de la Matriz A:

$$\Sigma \text{col}(\text{ACC})= 15,000$$

$$\Sigma \text{col}(\text{FLU})= 8,333$$

$$\Sigma \text{col}(\text{HOR})= 8,333$$

$$\Sigma \text{col}(\text{FLEX})= 5,000$$

$$\Sigma \text{col}(\text{COMP})=2,200$$

Se normaliza por columnas y se divide cada elemento de la matriz A la suma de cada columna por el número de elementos. Se obtiene la matriz  $A'$ :

$$\begin{array}{ccccc} 0,0667 & 0,0400 & 0,0400 & 0,0667 & 0,0909 \\ 0,2000 & 0,1200 & 0,1200 & 0,0667 & 0,1515 \\ 0,2000 & 0,1200 & 0,1200 & 0,0667 & 0,1515 \\ 0,2000 & 0,3600 & 0,3600 & 0,2000 & 0,1515 \\ 0,3333 & 0,3600 & 0,3600 & 0,6000 & 0,4545 \end{array}$$

Se obtiene el vector de pesos  $v$  como la media de cada fila de  $A'$ :

$$v\text{ACC}=0,0608$$

$$v\text{FLU}=0,1316$$

$$v\text{HOR}=0,1316$$

$$v\text{FLEX}=0,2543$$

$$v\text{COMP}=0,4216$$

### 4º Asignar los valores normalizados de $VC_{m,t'}$

Para la infraestructura T2 Estaciones de Metro los valores normalizados  $VC'$  son:

$$\text{ACC} = 0,50$$

$$\text{FLU} = 0,75$$

$$\text{HOR} = 0,75$$

$$\text{FLEX} = 1,00$$

$$\text{COMP} = 0,75$$

**5º Cálculo de Tt**

$$T_t (T4) = \sum v_m \cdot VC_{m,T4} = v \cdot V_{1m,t'} + v \cdot V_{2m,t'} + v \cdot V_{3m,t'} + v \cdot V_{4m,t'} + v \cdot V_{5m,t'}$$

$$T_t (T4) = 0,0608 \cdot 0,50 + 0,1316 \cdot 0,75 + 0,1316 \cdot 0,75 + 0,2543 \cdot 1,00 + 0,4216 \cdot 0,75$$

$$T_t (T4) = 0,7984$$

**Tipología T5 – Intercambiadores de Transporte**

**1º. Criterios y comparación según Saaty**

Los 10 valores comparativos se construyen según la escala fundamental de Saaty:

T5 - Intercambiadores				
VARIABLE DE CLASE 1	Vs	VARIABLE DE CLASE 2	Valor	Justificación
ACCESIBILIDAD	Vs	FLUJOS	1	En estos espacios intermodales la accesibilidad y los flujos son equivalentes.
ACCESIBILIDAD		HORARIOS	1/3	Los horarios pesan más, al final es un punto logístico de tránsito de pasajeros.
ACCESIBILIDAD		FLEXIBILIDAD	1	El acceso y la disponibilidad de espacios pesan lo mismo.
ACCESIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	3	Este espacio donde confluyen vehículos y usuarios debe ser accesible.
FLUJOS		HORARIOS	5	La intensidad de flujos es clave en un intercambiador de transportes.
FLUJOS		FLEXIBILIDAD	3	Los flujos condicionan el espacio.
FLUJOS		COMPATIBILIDAD	5	Esta tipología está marcada por los flujos de vehículo y usuario.
HORARIO		FLEXIBILIDAD	3	El horario condiciona más.
HORARIO		COMPATIBILIDAD	5	Horas que en las que se puede explotar la infraestructura pesan más que restricciones.
FLEXIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	3	El espacio disponible supera a las restricciones en importancia para operar logísticamente.

**2º Construcción de la Matriz A**

Orden de criterios: [ACC, FLU, HOR, FLEX, COMP]

1	1	1/3	1	3
1	1	5	3	5
3	1/5	1	3	5
1	1/3	1/3	1	3
1/3	1/5	1/5	1/3	1

**3º Normalización de la Matriz A y obtención del vector v**

Para obtener pesos se debe normalizar. En primer lugar, se suman las columnas de la Matriz A:

$$\Sigma \text{col}(\text{ACC}) = 6,333$$

$$\Sigma \text{col}(\text{FLU}) = 2,733$$

$$\Sigma \text{col}(\text{HOR}) = 6,866$$

$$\Sigma \text{col}(\text{FLEX}) = 8,333$$

$$\Sigma \text{col}(\text{COMP}) = 17,000$$

Se normaliza por columnas y se divide cada elemento de la matriz A la suma de cada columna por el número de elementos. Se obtiene la matriz A':

$$\begin{array}{ccccc} 0,1579 & 0,3659 & 0,0485 & 0,1200 & 0,1765 \\ 0,1579 & 0,3659 & 0,7282 & 0,3600 & 0,2941 \\ 0,4737 & 0,0732 & 0,1456 & 0,3600 & 0,2941 \\ 0,1579 & 0,1220 & 0,0485 & 0,1200 & 0,1765 \\ 0,0526 & 0,0732 & 0,0291 & 0,0400 & 0,0588 \end{array}$$

Se obtiene el vector de pesos  $v$  como la media de cada fila de A':

$$v_{\text{ACC}} = 0,1738$$

$$v_{\text{FLU}} = 0,3812$$

$$v_{\text{HOR}} = 0,2693$$

$$v_{\text{FLEX}} = 0,1250$$

$$v_{\text{COMP}} = 0,0508$$

#### 4º Asignar los valores normalizados de $VC_{m,t}$

Para la infraestructura T5- Intercambiadores de Transporte los valores normalizados  $VC'$  son:

$$\text{ACC} = 0,50$$

$$\text{FLU} = 0,75$$

$$\text{HOR} = 0,75$$

$$\text{FLEX} = 0,50$$

$$\text{COMP} = 0,25$$

**5º Cálculo de Tt**

$$T_t (T5) = \sum v_m \cdot VC_{m,T5} = v \cdot V_{1m,t'} + v \cdot V_{2m,t'} + v \cdot V_{3m,t'} + v \cdot V_{4m,t'} + v \cdot V_{5m,t'}$$

$$T_t (T5) = 0,1738 \cdot 0,50 + 0,3812 \cdot 0,75 + 0,2693 \cdot 0,75 + 0,1250 \cdot 0,50 + 0,0508 \cdot 0,25$$

$$T_t (T5) = 0,6499$$

**Tipología T6 – Mercados Municipales**

**1º. Criterios y comparación según Saaty**

Los 10 valores comparativos se construyen según la escala fundamental de Saaty:

T6 - Mercados Municipales				
VARIABLE DE CLASE 1	Vs	VARIABLE DE CLASE 2	Valor	Justificación
ACCESIBILIDAD	Vs	FLUJOS	<b>3</b>	Los accesos y la capacidad de operar pesa más que los flujos.
ACCESIBILIDAD		HORARIOS	<b>5</b>	Accesibilidad para el suministro es crucial en esta tipología.
ACCESIBILIDAD		FLEXIBILIDAD	<b>1</b>	El acceso y la disponibilidad de espacios pesan lo mismo.
ACCESIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	<b>1</b>	Ambos limitan la operatividad.
FLUJOS		HORARIOS	<b>3</b>	Los flujos condicionan más en esta tipología.
FLUJOS		FLEXIBILIDAD	<b>1/5</b>	La condición de que haya espacio es más relevante que los flujos para operar.
FLUJOS		COMPATIBILIDAD	<b>3</b>	La actividad en un mercado es más determinante que las restricciones.
HORARIO		FLEXIBILIDAD	<b>1/3</b>	Espacio para operar más que el horario de operación.
HORARIO		COMPATIBILIDAD	<b>3</b>	Horas que en las que se puede explotar la infraestructura pesan más que restricciones.
FLEXIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	<b>3</b>	El espacio disponible supera a las restricciones en importancia para operar logísticamente.

**2º Construcción de la Matriz A**

Orden de criterios: [ACC, FLU, HOR, FLEX, COMP]

<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1/3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1/5</b>	<b>3</b>
<b>1/5</b>	<b>1/3</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1/3</b>	<b>1</b>

**3º Normalización de la Matriz A y obtención del vector v**

Para obtener pesos se debe normalizar. En primer lugar, se suman las columnas de la Matriz A:

$$\Sigma \text{col}(\text{ACC}) = 3,533$$

$$\Sigma \text{col}(\text{FLU}) = 9,6667$$

$$\Sigma \text{col}(\text{HOR}) = 12,333$$

$$\Sigma \text{col}(\text{FLEX}) = 2,0667$$

$$\Sigma \text{col}(\text{COMP}) = 11,000$$

Se normaliza por columnas y se divide cada elemento de la matriz A la suma de cada columna por el número de elementos. Se obtiene la matriz A':

$$\begin{array}{ccccc} 0,2830 & 0,3103 & 0,4054 & 0,4839 & 0,0909 \\ 0,0943 & 0,1034 & 0,2432 & 0,0968 & 0,2727 \\ 0,0566 & 0,0345 & 0,0811 & 0,1613 & 0,2727 \\ 0,2830 & 0,5172 & 0,2432 & 0,4839 & 0,2727 \\ 0,2830 & 0,0345 & 0,0270 & 0,1613 & 0,0909 \end{array}$$

Se obtiene el vector de pesos  $v$  como la media de cada fila de A':

$$v_{\text{ACC}} = 0,3147$$

$$v_{\text{FLU}} = 0,1621$$

$$v_{\text{HOR}} = 0,1213$$

$$v_{\text{FLEX}} = 0,3600$$

$$v_{\text{COMP}} = 0,1193$$

#### 4º Asignar los valores normalizados de $VC_{m,t}$

Para la infraestructura T6 – Mercados Municipales los valores normalizados VC' son:

$$\text{ACC} = 0,75$$

$$\text{FLU} = 0,75$$

$$\text{HOR} = 0,75$$

$$\text{FLEX} = 1,00$$

$$\text{COMP} = 0,75$$

**5º Cálculo de Tt**

$$T_t (T6) = \sum v_m \cdot VC_{m,T6} = v \cdot V_{1m,t'} + v \cdot V_{2m,t'} + v \cdot V_{3m,t'} + v \cdot V_{4m,t'} + v \cdot V_{5m,t'}$$

$$T_t (T6) = 0,3147 \cdot 0,75 + 0,1621 \cdot 0,75 + 0,1213 \cdot 0,75 + 0,3600 \cdot 1,00 + 0,1193 \cdot 0,75$$

$$T_t (T6) = 0,896$$

**Tipología T7 – Equipamientos Deportivos**

**1º. Criterios y comparación según Saaty**

Los 10 valores comparativos se construyen según la escala fundamental de Saaty:

T7 - Espacios deportivos				
VARIABLE DE CLASE 1	Vs	VARIABLE DE CLASE 2	Valor	Justificación
ACCESIBILIDAD	Vs	FLUJOS	<b>3</b>	Los accesos y la capacidad de operar pesa más que los flujos.
ACCESIBILIDAD		HORARIOS	<b>3</b>	Accesibilidad supera a los horarios.
ACCESIBILIDAD		FLEXIBILIDAD	<b>1</b>	El acceso y la disponibilidad de espacios pesan lo mismo.
ACCESIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	<b>1/3</b>	Compatibilidad de un uso deportivo es más relevante.
FLUJOS		HORARIOS	<b>1/3</b>	Horario pesa más porque los flujos son constantes y no excesivos.
FLUJOS		FLEXIBILIDAD	<b>1/5</b>	La condición de que haya espacio es más relevante que los flujos para operar.
FLUJOS		COMPATIBILIDAD	<b>1/7</b>	Restricciones operativas mucho más relevante que el flujo.
HORARIO		FLEXIBILIDAD	<b>1/3</b>	Espacio para operar más que el horario de operación.
HORARIO		COMPATIBILIDAD	<b>1/5</b>	Las restricciones de uso de este espacio deportivo pesan más que el horario.
FLEXIBILIDAD		COMPATIBILIDAD	<b>1/3</b>	Que sea compatible la actividad pesa más que el espacio, aunque este es valorable.

**2º Construcción de la Matriz A**

Orden de criterios: [ACC, FLU, HOR, FLEX, COMP]

<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>
<b>1/3</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>	<b>1/7</b>
<b>1/3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>	<b>1/5</b>
<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1/3</b>
<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

**3º Normalización de la Matriz A y obtención del vector v**

Para obtener pesos se debe normalizar. En primer lugar, se suman las columnas de la Matriz A:

$$\Sigma \text{col(ACC)} = 5,667$$

$$\Sigma \text{col(FLU)} = 19,000$$

$$\Sigma \text{col(HOR)} = 12,333$$

$$\Sigma \text{col(FLEX)} = 5,333$$

$$\Sigma \text{col(COMP)} = 2,0095$$

Se normaliza por columnas y se divide cada elemento de la matriz A la suma de cada columna por el número de elementos. Se obtiene la matriz A':

$$\begin{array}{ccccc} 0,1765 & 0,1579 & 0,2432 & 0,1807 & 0,1659 \\ 0,0588 & 0,0526 & 0,0270 & 0,0361 & 0,0711 \\ 0,0588 & 0,1579 & 0,0811 & 0,0602 & 0,0995 \\ 0,1765 & 0,2632 & 0,2432 & 0,1807 & 0,1659 \\ 0,5924 & 0,3684 & 0,4054 & 0,5422 & 0,4976 \end{array}$$

Se obtiene el vector de pesos  $v$  como la media de cada fila de A':

$$v_{\text{ACC}} = 0,1848$$

$$v_{\text{FLU}} = 0,0941$$

$$v_{\text{HOR}} = 0,0915$$

$$v_{\text{FLEX}} = 0,2059$$

$$v_{\text{COMP}} = 0,4686$$

#### 4º Asignar los valores normalizados de $VC_{m,t}$

Para la infraestructura T7 – Equipamientos Deportivos los valores normalizados  $VC'$  son:

$$\text{ACC} = 0,75$$

$$\text{FLU} = 0,50$$

$$\text{HOR} = 0,50$$

$$\text{FLEX} = 0,75$$

$$\text{COMP} = 0,50$$

**5º Cálculo de Tt**

$$T_t (T7) = \sum v_m \cdot VC_{m,T7} = v \cdot V_{1m,t'} + v \cdot V_{2m,t'} + v \cdot V_{3m,t'} + v \cdot V_{4m,t'} + v \cdot V_{5m,t'}$$

$$T_t (T7) = 0,1848 \cdot 0,75 + 0,0491 \cdot 0,50 + 0,0915 \cdot 0,50 + 0,2059 \cdot 0,75 + 0,4686 \cdot 0,50$$

$$T_t (T7) = 0,5977$$



**Universidad  
Europea**