



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN URBANA DE MERCANCÍAS EN SANTANDER MEDIANTE CICLOLOGÍSTICA

Trabajo realizado por:

Eduardo Arana Ruiz

Dirigido:

José Luis Moura Berodia

Titulación:

**Máster Universitario en Ingeniería
de Caminos, Canales y Puertos**

Santander, febrero de 2023

TRABAJO FIN DE MASTER

Contenido

Resumen.....	10
Abstract	11
1. Introducción y problemática	12
1.1. Problemas de tráfico constatados.....	12
1.2. Causa número 1: la ubicación	13
1.2.1. Situación geográfica	13
1.2.2. Orografía	14
1.3. Causa número 2: el planteamiento del transporte.....	16
1.3.1. Movilidad interna y servicios de transporte	16
1.3.2. Infraestructuras de transporte.....	22
1.4. Causa número 3: el nuevo paradigma de logística urbana dado por la atomización de los envíos.....	23
1.5. Consecuencias: sostenibilidad del modelo actual.....	27
2. Enfoque de la solución	32
2.1. ¿Sobriedad o alta tecnología?.....	32
2.2. Esbozo de la idea a buscar	33
3. Casos de estudio y estado del arte.....	37
3.1. Transporte de mercancías por barco	37
3.2. Sistema de almacenes.....	39
3.3. Reparto mediante bicicletas de carga.....	40
3.4. Cambio de calles para favorecer la movilidad activa y el transporte público colectivo	43
3.5. Recomendaciones para una solución exitosa	46
4. Selección de componentes de la solución integral	53
5. Definición de la solución	59
5.1. Sistema de ciclogística.....	59
5.1.1. Tipos de envíos a cubrir.....	59
5.1.2. Zonas objetivo	60
5.1.3. Centro de consolidación.....	62
5.2. Sistema de acercamiento de las mercancías en barco	65
5.2.1. Ubicación del punto de partida del barco.....	65
5.2.2. Ubicación del punto de llegada del barco a Santander.....	68
5.3. Red ciclable	68
5.4. Limitaciones de capacidad para automóviles en los ejes principales	68
5.5. Zonas de bajas emisiones.....	69

6.	Modelo: escenarios desarrollados	71
6.1.	Escenario Original SUMLAB.....	71
6.2.	Escenario Base: Inclusión de la demanda de vehículos pesados	73
6.3.	Escenarios de las familias 1 y 2	76
6.3.1.	Modificaciones comunes a ambas familias de escenarios.....	76
6.3.2.	Familia de escenarios 1	80
6.3.3.	Familia de escenarios 2	81
6.4.	Resumen de los escenarios	82
7.	Análisis y resultados	83
7.1.	Resultados del modelo de tráfico	83
7.1.1.	Tiempos de viaje entre zonas.....	83
7.1.2.	Tiempo total transcurrido en la red	87
7.1.3.	Vehículos-km totales	88
7.1.4.	Reducción de tráfico en ejes seleccionados.....	92
7.1.5.	Viajes de vehículos pesados evitados y flotas de bicicletas de carga necesarias	94
7.2.	Otros parámetros	94
7.2.1.	Emisiones evitadas	95
7.2.2.	Ahorro en combustible.....	99
7.3.	Selección del escenario óptimo	99
7.4.	Necesidades operativas de la solución	101
8.	Conclusiones y posibles desarrollos a futuro	102
	Bibliografía	104
	Artículos	104
	Páginas web.....	105
	Consultas a expertos	107
	Libros	107

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Nivel de saturación de los viales de Santander, medidos como índice "Volumen / Capacidad" en una hora. Fuente: elaboración propia a partir de datos de SUM+LAB.	13
Ilustración 2: Infraestructuras de acceso a Santander por tierra, vista satélite. Fuente: Google Earth. 14	14
Ilustración 3: Perfiles de elevación del terreno tomando líneas rectas: 1) Desde la Plaza Porticada hasta la glorieta en la intersección entre el Puente Juan José Arenas y la Avenida de la Constitución. 2) desde la pasarela sobre las vías del tren en C/ Castilla hasta el consultorio médico de Monte. Fuente: Google Earth.	14
Ilustración 4: Red ciclista propuesta en las fases iniciales de este proyecto. En amarillo se destacan las rampas con pendiente media de entre un 3% y un 5%, en naranja entre un 5% y un 10% y, en rojo, superior a un 10%. Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth.....	15
Ilustración 5: Gráfico de orientaciones de las calles mostradas en el mapa. Fuente: mourner.github.io (Volodymyr Agafonkin).	15
Ilustración 6: Reparto modal de los viajes internos de Santander. Fuente: Estudio de Viabilidad de la red de Movilidad Sostenible (Santander 2055), SUM+LAB.....	16
Ilustración 7: Población de los municipios estudiados y año de su correspondiente estudio. Fuente: elaboración propia.	18
Ilustración 8: Reparto modal en Santander, Tarragona, Oviedo, Pamplona y Donostia -San Sebastián. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Observatorio de la Movilidad Metropolitana y del SUM+LAB.....	19
Ilustración 9: Líneas de autobús de las cercanías de Santander. Fuente: SUM+LAB	20
Ilustración 10: Representación del espacio que ocupan 200 personas según su modo de transporte: de arriba hacia abajo, automóviles, autobuses, tranvías, bicicletas y peatones. La segunda fila más larga, la de los tranvías, tiene una longitud menor que 1/5 de la de los automóviles. Fuente: PTV Group en YouTube.....	21
Ilustración 11: Esquema tradicional del sistema de movimiento de mercancías para productos de uso o consumo en hogares. Fuente: elaboración propia.	24
Ilustración 12: Variación sobre el esquema tradicional del sistema de movimiento de mercancías para productos de uso o consumo en hogares, en el que se han alejado los hogares de las tiendas. Fuente: elaboración propia.	24
Ilustración 13: Esquema de reparto de mercancías a los hogares. Fuente: elaboración propia.	26
Ilustración 14: Parámetros de calidad del aire en Tetuán y su comparación con los requisitos de la OMS. Fuente: elaboración propia con datos de la Red de Calidad del Aire de Cantabria y de la OMS.	28
Ilustración 15: Parámetros de calidad del aire en Santander Centro y su comparación con los requisitos de la OMS. Fuente: elaboración propia con datos de la Red de Calidad del Aire de Cantabria y de la OMS.....	29
Ilustración 16: Esquema representativo del sistema actual de reparto de mercancías en Santander. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.	35
Ilustración 17: Esquema representativo de la propuesta para el reparto de mercancías en Santander. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.	36
Ilustración 18: Descarga de contenedores de Franprix en el puerto de la Bourdonnais, en París. El puente que se ve sobre el Sena es el céntrico Puente del Alma. Fuente: www.leparisien.fr.....	38
Ilustración 19: Evolución de la Rue de Rivoli en París. Fuente: APUR, Atelier Parisien d'Urbanisme (Taller Parisino de Urbanismo).	44
Ilustración 20: Resultados del AHP. Puntuaciones de cada una de las propuestas. Fuente: elaboración propia.....	57
Ilustración 21: Códigos postales para los que se propone la solución. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.	61
Ilustración 22: Zonas del modelo seleccionadas. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.	61

Ilustración 23: Superposición de las zonas objetivo en el modelo Visum con los códigos postales seleccionados. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.	62
Ilustración 24: Ubicaciones posibles: Raos y Peña Hermosa, y sus accesos desde la S-10 y A-67 Fuente: elaboración propia sobre imagen de Google Earth.	66
Ilustración 25: ZBE considerada. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.	70
Ilustración 26: Esquema de precedencias entre escenarios. Fuente: elaboración propia.	71
Ilustración 27: Reparto de las zonas por tamaño. Fuente_ elaboración propia a partir de datos del modelo de SUM+LAB.	72
Ilustración 28: Sistema de cálculo simplificado del modelo de Santander del SUMLAB. Fuente: elaboración propia.	72
Ilustración 29: Puntos de conteo de los que se han tomado datos para la generación de los envíos. Fuente: elaboración propia hecha a partir del Mapa de Tráfico 2019.	74
Ilustración 30: Proceso de cálculo del escenario base. Fuente: elaboración propia.	76
Ilustración 31: Red de carriles bici propuesta, vista general. Fuente: elaboración propia.	77
Ilustración 32: Red de carriles bici propuesta, zoom sobre el centro de la ciudad. Fuente: elaboración propia.	77
Ilustración 33: Zona de Bajas Emisiones incluida en el modelo. Fuente: elaboración propia.	78
Ilustración 34: Esquema del proceso de cálculo de los escenarios con sistema de ciclogística. Fuente: elaboración propia.	80
Ilustración 35: Tiempo total transcurrido en la red por la suma de todos los vehículos y peatones. Fuente: elaboración propia.	87
Ilustración 36: Tiempo total transcurrido en la red por la suma de todos los vehículos a motor. Fuente: elaboración propia.	88
Ilustración 37: Tiempo total transcurrido en la red por la suma de todos los vehículos y peatones correspondientes a los modos de movilidad activa. Fuente: elaboración propia.	88
Ilustración 38: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante vehículo privado motorizado. Fuente: elaboración propia.	89
Ilustración 39: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante coche. Para el Escenario Original Sumlab, este dato incluye también los pesados. Fuente: elaboración propia.	89
Ilustración 40: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante vehículo pesado. Fuente: elaboración propia.	90
Ilustración 41: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante vehículo de movilidad personal. Fuente: elaboración propia.	90
Ilustración 42: Kilómetros totales recorridos en total en la red a pie. Fuente: elaboración propia.	91
Ilustración 43: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante bicicleta de carga. Fuente: elaboración propia.	91
Ilustración 44: Kilómetros totales recorridos en total en la red en alguno de los modos de movilidad activa contemplados (km a pie + veh-km en VMP + veh-km en bicicleta de carga). Fuente: elaboración propia.	92
Ilustración 45: Comparación entre los flujos de tráfico en los Escenarios 1 y 2 (eje vertical) frente a los del Escenario Base, para una serie de ejes seleccionados con el fin de medir la eficacia del sistema de ciclogística y de la ZBE. Fuente: elaboración propia.	93
Ilustración 46: Comparación entre los flujos de tráfico en los Escenarios 1 y 2 (eje vertical) frente a los del Escenario Base, para una serie de ejes seleccionados con el fin de medir el posible efecto frontera de la ZBE. Fuente: elaboración propia.	94
Ilustración 47: Entorno de las plazas de Pombo y Cañadío para el que se han realizado comparaciones entre emisiones en las situaciones actual y futuras. Fuente: elaboración propia sobre base de Openstreetmap.	95
Ilustración 48: Entorno del Ayuntamiento, Mercado de la Esperanza, Cabildo de Arriba y Jesús de Monasterio para el que se han realizado comparaciones entre emisiones en las situaciones actual y futuras. Fuente: elaboración propia sobre base de Openstreetmap.	96

Ilustración 49: Entorno de las calles interiores entre Castilla y Marqués de la Hermida para el que se han realizado comparaciones entre emisiones en las situaciones actual y futuras. Fuente: elaboración propia sobre base de Openstreetmap.97

Lista de tablas

Tabla 1: Ejes principales de Santander con problemas de saturación. Fuente: elaboración propia a partir de datos del SUM+LAB.....	13
Tabla 2: Reparto modal de los viajes realizados en el interior de los municipios estudiados por el OMM y comparación con Santander. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Observatorio de la Movilidad Metropolitana, del SUM+LAB y del INE.	17
Tabla 3: Viajeros anuales por línea de autobús de las cercanías de Santander. Fuente: Estudio de Viabilidad de la red de Movilidad Sostenible (Santander 2055), SUM+LAB.....	20
Tabla 4: Viajeros de los servicios de cercanías por ferrocarril de Cantabria. Fuente: Estudio de Viabilidad de la red de Movilidad Sostenible (Santander 2055), SUM+LAB.....	21
Tabla 5: Valores máximos de índices de calidad del aire. Fuente: elaboración propia a partir de las indicaciones de la OMS.....	28
Tabla 6: Nivel de cumplimiento de Santander en calidad del aire. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Red de Calidad del Aire de Cantabria y de la OMS.	29
Tabla 7: Reducción en emisiones debida a la implantación de cada una de las generaciones del "Beer Boat Utrecht", en comparación con el sistema por carretera anterior a los mismos. Fuente: Janjevic y Ndiaye (2014).	39
Tabla 8: Listado de cooperativas de reparto en bicicleta en España. Fuente: elaboración propia a partir de datos de www.coopcycle.org	43
Tabla 9: Valores relativos y valores de ponderación de los criterios adoptados. Fuente: elaboración propia.....	54
Tabla 10: Valores relativos y valores obtenidos por cada una de las propuestas en el apartado "coste económico de su implantación y mantenimiento". Fuente: elaboración propia.	54
Tabla 11: Valores relativos y valores obtenidos por cada una de las propuestas en el apartado "complementariedad entre las propuestas". Fuente: elaboración propia.	55
Tabla 12: Valores relativos y valores obtenidos por cada una de las propuestas en el apartado "molestias e inconveniencias generadas ". Fuente: elaboración propia.	55
Tabla 13: Valores relativos y valores obtenidos por cada una de las propuestas en el apartado "impacto medioambiental esperado". Fuente: elaboración propia.	55
Tabla 14: Valores relativos y valores obtenidos por cada una de las propuestas en el apartado "valor simbólico y recepción entre la población ". Fuente: elaboración propia.....	56
Tabla 15: Resumen de los valores obtenidos en el análisis y resultados finales. Fuente: elaboración propia.....	56
Tabla 16: Familias de escenarios en función de la cantidad de envíos que se realizan mediante bicicleta de carga en cada uno de ellos. Fuente: elaboración propia.	60
Tabla 17: Duración de los trayectos entre las vías de gran capacidad y los posibles emplazamientos. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Google Traffic.	66
Tabla 18: Empresas de transporte, logística y distribución en el Polígono Industrial de Raos. Fuente: elaboración propia.	67
Tabla 19: Empresas de transporte, logística y distribución en el entorno de los embarcaderos del Carmen y de Peña Hermosa. Fuente: elaboración propia.	67
Tabla 20: Escenarios en función de los puntos de llegada del barco. Fuente: elaboración propia.	68
Tabla 21: Mercancías atraídas diariamente por los comercios de Santander. Fuente: adaptado de Nuzzolo, Comi, Ibeas y Moura (2016)	73
Tabla 22: Reparto del acceso de camiones a Santander. Fuente: elaboración propia.....	75
Tabla 23: Resumen de las principales características de los escenarios calculados. Fuente: elaboración propia.....	82
Tabla 24: Tiempos de viaje en coche en el escenario base. Fuente: elaboración propia.....	83
Tabla 25: Aumento en tiempos de viaje en coche en el escenario 1. Fuente: elaboración propia.	84
Tabla 26: Aumento en tiempos de viaje en coche en el escenario 2. Fuente: elaboración propia.	84
Tabla 27: Tiempos de viaje en VMP en el escenario base. Fuente: elaboración propia.	85
Tabla 28: Aumento en tiempos de viaje en VMP en el escenario 1. Fuente: elaboración propia.	85

Tabla 29: Aumento en tiempos de viaje en VMP en el escenario 2. Fuente: elaboración propia.	85
Tabla 30: Diferencias relativas entre los tiempos de viaje entre zonas en VMP respecto al coche, Escenario Base. Fuente: elaboración propia.	86
Tabla 31: Diferencias relativas entre los tiempos de viaje entre zonas en VMP respecto al coche, Escenario 1. Fuente: elaboración propia.....	86
Tabla 32: Diferencias relativas entre los tiempos de viaje entre zonas en VMP respecto al coche, Escenario 2. Fuente: elaboración propia.....	87
Tabla 33: Valores del Escenario Base y diferencias entre cada escenario y el Escenario Base para algunos de los contaminantes medidos, en el total de la red modelizada. Fuente: elaboración propia.....	98
Tabla 34: Valores del Escenario Base y diferencias entre cada escenario y el Escenario Base para algunos de los contaminantes medidos, en la denominada como "Zona 1". Fuente: elaboración propia.....	98
Tabla 35: Valores del Escenario Base y diferencias entre cada escenario y el Escenario Base para algunos de los contaminantes medidos, en la denominada como "Zona 2". Fuente: elaboración propia.....	99
Tabla 36: Valores del Escenario Base y diferencias entre cada escenario y el Escenario Base para algunos de los contaminantes medidos, en la denominada como "Zona 3". Fuente: elaboración propia.....	99

Resumen

La ciudad de Santander presenta múltiples problemas en materia de movilidad, por motivos tanto geográficos (ubicación en una península, orografía) como de políticas y costumbres de la ciudadanía (favorecimiento del uso del vehículo particular por no plantearle alternativas suficientemente competitivas).

Esto conlleva que se generen atascos por la fuerte dependencia que hay tanto del modo de transporte principal (vehículos privados por carretera) como de los pocos accesos de gran capacidad que hay a la ciudad (S-10 y S-20). Más allá del problema asociado al tráfico, cabe destacar también que se trata de una situación insostenible en el plano ambiental, y poco sólida dada la gran dependencia que hay de unas pocas infraestructuras clave.

A medida que en otras ciudades europeas se van implantando sistemas para la distribución urbana de mercancías por medios alternativos tales como los barcos y las bicicletas de carga, es fundamental que Santander, dadas las debilidades mencionadas y el potencial que tiene en su bahía, busque ser pionera en la búsqueda de alternativas a esta situación.

Se comienza el trabajo con un análisis crítico de las causas y consecuencias de los principales problemas que llevan a Santander a esta situación en materia de tráfico, para a continuación realizar un primer esbozo de la solución a proponer.

Después, se da cuenta de múltiples casos de éxito y de estudio de los cuatro ejes principales sobre los que se propone que se articule la propuesta: el acercamiento de las mercancías por barco, el uso de un centro de consolidación, el reparto mediante bicicletas de carga y el cambio en la configuración de las calles para que se favorezca la movilidad activa. Para esta búsqueda se ha buscado hablar con algunos agentes seleccionados importantes del sector, por lo que no ha sido exclusivamente bibliográfica, aunque ésta ha sido la que más casos ha hecho aflorar.

A la hora de definir la solución, se ha hecho particular hincapié en la ciclogística, siendo este el aspecto en el que se ha profundizado el estudio para analizar sus posibilidades al ser la pieza clave de la propuesta.

Se han definido una serie de aspectos importantes a la par que básicos de la solución, tales como su extensión y los tipos de envíos que van a ser cubiertos, antes de proceder a su elaboración mediante un programa de modelizado de tráfico (PTV Visum).

Con este programa, se ha comenzado por realizar una modelización del estado actual del reparto de mercancías en Santander, introduciendo para ello nuevas funcionalidades al modelo de tráfico de la ciudad del que dispone el SUMLAB.

Una vez calculado y validado el modelo, se han modelizado los escenarios, los cuales varían tanto en la cantidad de mercancías cuyo envío queda sustituido por bicicletas de carga como en las restricciones de acceso vehicular que se aplican (nivel de restricción de la Zona de Bajas Emisiones que se propone en el trabajo).

Para finalizar, con todos los escenarios calculados, se hace un análisis comparativo entre las diferentes variantes, escogiendo el que se ha considerado más adecuado teniendo en cuenta tanto su posibilidad de implantación, como criterios de tráfico urbano y medioambientales.

Abstract

The city of Santander experiences several problems related to mobility, because of both geographical reasons (the fact of it being located in a peninsula, or its orography) and its policies and the citizens' habits (the use of the private vehicle has a *de facto* advantage as there are no sufficiently competitive alternative modes).

This leads to traffic jams, as there is a strong dependency on not only this main transportation mode, but also on the small number of high-capacity access axes that lead to the city (motorways S-10 and S-20). Furthermore, this is a situation that has no durability in the environmental side, and no solid at all since this causes, at the same time, a dependency on a small bunch of key infrastructures.

As other European cities are implementing new and more durable systems for urban freight distribution such as boats and cargo bikes, it is key for Santander to explore the potential of its bay in this aspect in order to resolve these weaknesses, hence becoming an example in the area.

The work starts with a critical analysis of the causes and consequences that lead Santander to this situation in traffic, so that a first draft of the solution can be made.

To follow with, a review is made on the multiple success and study cases on each of the four main pillars of the proposal: the approach of freight via the bay, the implementation of a freight consolidation center, the distribution by cargo bikes and the change in the street configuration so that active mobility is favored.

When it comes to defining the solution, the focus has been set on cyclologistics, since it is the keystone of the proposal.

A series of aspects of the solution have been defined next, such as its extension and the types of deliveries that are to be covered by the cyclologistics system, in order to later create its traffic model using the PTV Visum software.

Using this software, a model of the current state of urban freight distribution in Santander has been made, therefore introducing new functionalities to the traffic model SUMLAB has.

Once this model has been calculated and validated, the alternative scenarios have been calculated. These vary in the amount of freight that is delivered through cargo bikes and in the restriction levels of the low emission zone that is proposed with them.

To end up with, a comparative analysis is made between the different alternatives, choosing the one that has been considered best following both urban traffic and environmental criteria, also considering its implementing possibilities.

1. Introducción y problemática

El presente trabajo se elabora con el fin de proponer una solución a la problemática conjunta y pluridisciplinar que muestra la ciudad de Santander con relación a la Distribución Urbana de Mercancías (DUM), y que está íntimamente ligado tanto a su ubicación como al planteamiento de su movilidad, además de otros factores como la rápida evolución de los sistemas de reparto.

Se busca proponer una solución para, al menos, parte del problema de reparto, intentando así minimizar las consecuencias negativas de la temática que nos atañe, como los problemas de tráfico, medioambientales y de recursos, además obviamente de los aspectos sobre la habitabilidad de Santander y la salud de quienes viven en la ciudad.

Debido a la fuerte interconexión que hay entre ambos tipos de transporte existentes, en la parte de las causas vamos a tener en cuenta, además del transporte de mercancías, aspectos del transporte de pasajeros. No en vano, como ambos suelen compartir las mismas infraestructuras lineales en muchos casos, la apuesta por un modo que se realiza mediante la construcción de una infraestructura dada (como puede serlo una carretera), tiene su impacto sobre ambos tipos de transporte.

Sin embargo, en este trabajo no nos pararemos a analizar en profundidad las consecuencias sobre la movilidad de personas que tendrá la solución propuesta, si acaso se darán algunos datos generales que resultarán de la apuesta por un transporte de mercancías para el que se mejore la infraestructura y que favorece, a su vez, la movilidad activa de los pasajeros.

En esta introducción comenzaremos por hablar de los problemas de tráfico que se constatan en la red viaria de Santander. No se trata del único problema que hay (el resto se desarrollan más adelante), pero al ser, a ojos de la ciudadanía, el asunto más fácil de ver se ha considerado óptimo para la estructuración del documento de una forma lo más didáctica posible.

A continuación, se mostrarán las tres principales causas que, según los conocimientos y opiniones del autor, generan no solamente el problema de tráfico, sino más consecuencias nocivas como la contaminación del aire y su impacto sobre la salud de los habitantes, tema con cuyo desarrollo se concluirá este grueso apartado de introducción

Se sigue por lo tanto una estructura en la que primeramente se presenta el problema fácilmente visible y contrastado, del que se explican las causas y tras ello se muestran, a modo de consecuencia, el resto de los problemas asociados.

1.1. Problemas de tráfico constatados

Comenzamos pues haciendo un análisis del habitualmente problemático estado de tráfico en Santander, valiéndonos para ello del modelo de tráfico de Santander ya calibrado del que dispone el Grupo de Investigación Movilidad Sostenible e Ingeniería Ferroviaria (SUM+LAB) de la Universidad de Cantabria¹.

A partir de sus datos, asumiendo un factor de hora punta de un 8%, y tomando que un carril es capaz de absorber, a una velocidad de 30 km/h, un tráfico de 10.000 vehículos al día, se puede ver que un 21% de los kilómetros de los casi 500 km de que se compone la red viaria santanderina presentan tráficos que exceden su capacidad. Otro 2% de la red está peligrosamente cerca de alcanzar esa situación de saturación al estar por encima de un 90% de

¹ <https://sumlab.unican.es/>

su capacidad y un 4% adicional debe ser vigilado, pues presenta valores de uso por encima del 75% de su capacidad. Se muestra esto en la Ilustración 1.

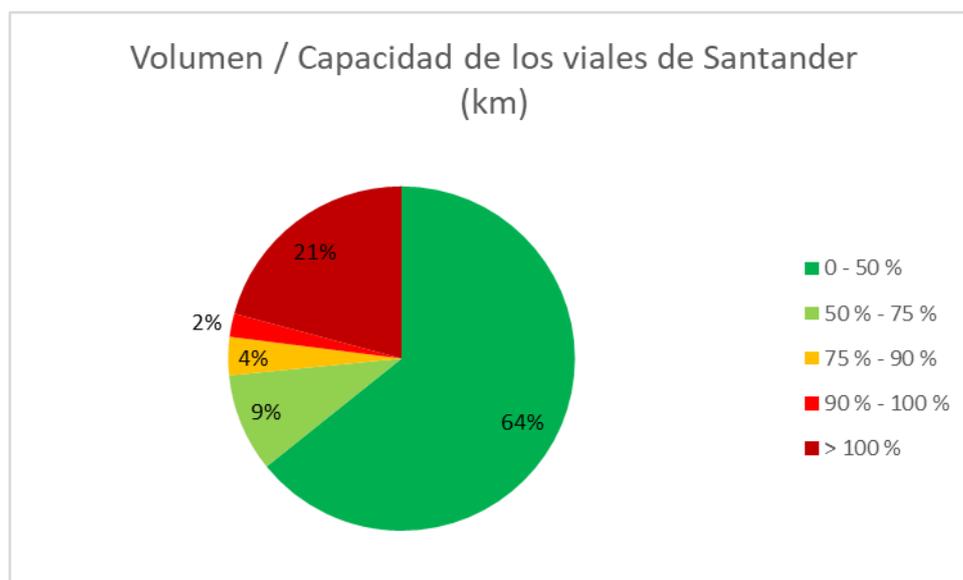


Ilustración 1: Nivel de saturación de los viales de Santander, medidos como índice "Volumen / Capacidad" en una hora. Fuente: elaboración propia a partir de datos de SUM+LAB.

Este 21% de ejes saturados se corresponde además con muchos de los principales ejes viarios de Santander. Se muestra en la Tabla 1 una relación de algunos de los ejes que presentan tramos en estado de saturación.

Avenida de Los Castros	S-20	Casimiro Sainz
Paseo de Pereda	Jesús de Monasterio	Isabel II
San Fernando	Castilla	Jerónimo Sainz de la Maza
Avenida Valdecilla	Marqués de la Hermida	Avenida Parayas
Alcalde Vega Lamera	Avenida Julio Jaurena	Antonio López
A-67	N-623	S-10
Joaquín Rodrigo	Conexión S-20 – Los Castros	General Dávila
Calvo Sotelo	Avenida Virgen del Mar	Túnel de La Marga

Tabla 1: Ejes principales de Santander con problemas de saturación. Fuente: elaboración propia a partir de datos del SUM+LAB.

Sin más dilación, pasamos a analizar las principales causas de la problemática constatada:

1.2. Causa número 1: la ubicación

La ciudad de Santander (172.221 habitantes²) muestra una complicada situación geográfica y orografía que, unidas al resto de causas de las que se habla en este documento, hace que haya una fuerte dependencia de la ciudad de sus escasos accesos por carretera.

1.2.1. Situación geográfica

En lo que respecta a la situación geográfica, tan loada en ocasiones pues se trata de un generador natural de riqueza aparentemente inagotable, en realidad plantea un problema de aislamiento. El hecho de ser prácticamente una península hace que a Santander solo se pueda acceder, mediante medios terrestres, por sus partes sur y oeste.

² Según el Instituto Nacional de Estadística (ine.es), datos de 2021.

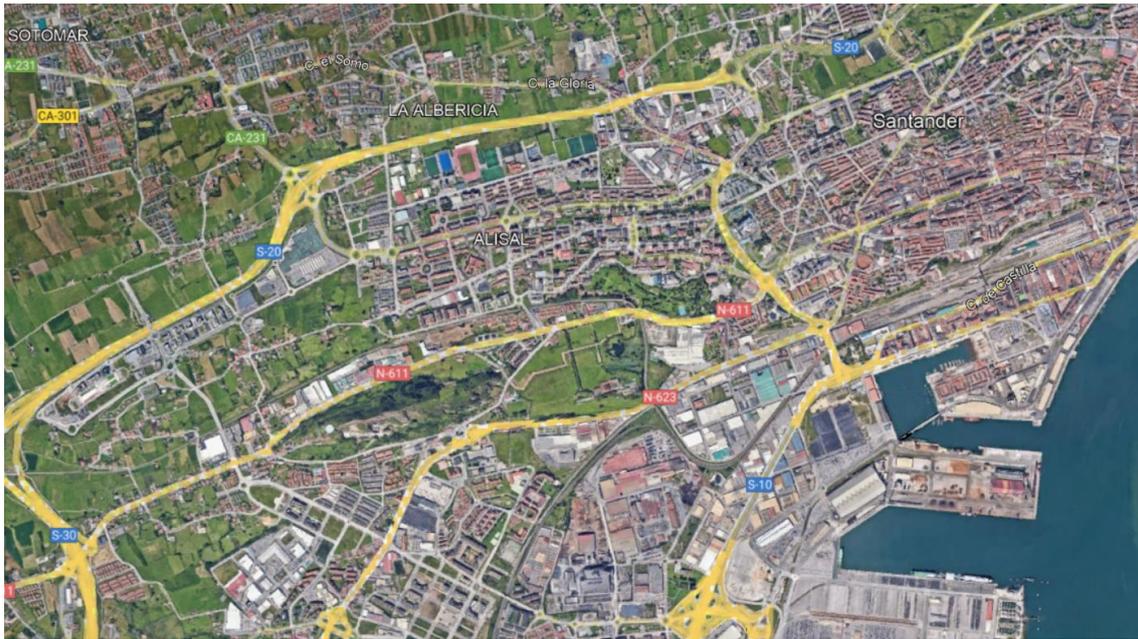


Ilustración 2: Infraestructuras de acceso a Santander por tierra, vista satélite. Fuente: Google Earth.

La situación en península de la que se está tratando habilita, por el contrario, el acceso por vía acuática desde el sur, pero no desde el norte (por lo escarpado de la costa) ni desde el este (por el uso que se le da actualmente). El acceso desde el sur por vía acuática se trata de una opción cuyas posibilidades serán analizadas como parte de este trabajo.

1.2.2. Orografía

El hecho de tratarse de una ciudad en la que buena parte de sus habitantes viven en laderas (ya sea en la zona de la Calle Alta, bien en alguna de las dos vertientes de la cresta que forma el Paseo General Dávila, o incluso en los barrios al norte de la Vaguada de Las Llamas) hace que el callejero de Santander, que conforma las conexiones viarias de la ciudad, sea altamente dependiente de su orografía, llegando a ser inadecuado para según qué modos de transporte, notablemente sistemas ferroviarios debido a las grandes pendientes que hay sobre todo en el sentido transversal (norte – sur) de la ciudad.

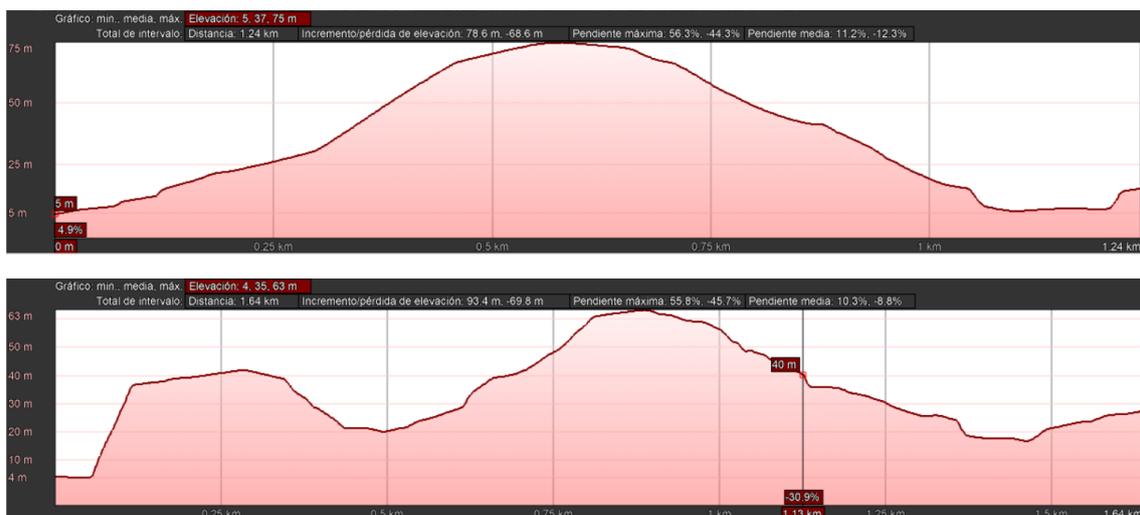


Ilustración 3: Perfiles de elevación del terreno tomando líneas rectas: 1) Desde la Plaza Porticada hasta la glorieta en la intersección entre el Puente Juan José Arenas y la Avenida de la Constitución. 2) desde la pasarela sobre las vías del tren en C/ Castilla hasta el consultorio médico de Monte. Fuente: Google Earth.



Ilustración 4: Red ciclista propuesta en las fases iniciales de este proyecto. En amarillo se destacan las rampas con pendiente media de entre un 3% y un 5%, en naranja entre un 5% y un 10% y, en rojo, superior a un 10%. Fuente: elaboración propia a partir de Google Earth.

Esta orografía también ha causado, a modo de efecto secundario, que muchas de las calles de Santander sean estrechas, por dos motivos: el apilamiento de los edificios buscando aprovechar al máximo las superficies edificables y el alto coste que tiene el realizar grandes explanaciones para ejecutar el viario (que, en el término municipal de Santander, suma unos 500 km).

Así las cosas, las únicas conexiones con pendientes moderadas en la ciudad son las longitudinales (este – oeste), factor que sin duda ha influido en el desarrollo de la ciudad. El condicionamiento que esto ha supuesto se nota al ver la cantidad de calles de la ciudad que transcurren en sentido este – oeste, en comparación con las otras direcciones.

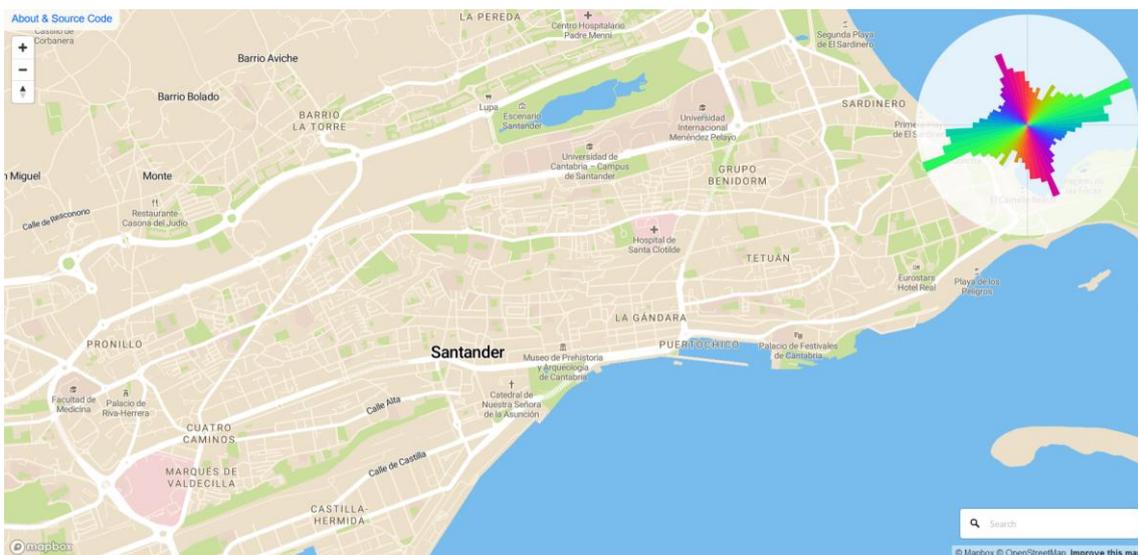


Ilustración 5: Gráfico de orientaciones de las calles mostradas en el mapa. Fuente: mournr.github.io (Volodymyr Agafonkin).

1.3. Causa número 2: el planteamiento del transporte

1.3.1. Movilidad interna y servicios de transporte

A pesar de los altos índices de densidad que se logran en las zonas céntricas de la ciudad, la actual distribución del área metropolitana de Santander, con centros educativos, puestos de trabajo y centros comerciales a las afueras, hace que muchos trayectos se hagan en coche ante la falta de conexiones eficaces desde las diversas zonas de la ciudad hasta esos lugares, o incluso entre barrios.

La red de autobús urbano no muestra una gran cantidad de usuarios para el tamaño que tiene la ciudad, puesto que sus 19,5 millones de viajes en 2019³ (último año para el que se consideran válidos los datos de este tipo, debido a la pandemia de la Covid-19 y su posterior fase de recuperación) quedan lejos de los 29 millones de viajes que se hicieron a bordo de los autobuses de Donostia – San Sebastián⁴, ciudad que a efectos culturales, de población, posición costera y orografía podríamos considerar como la más parecida a Santander dentro de España.

Por otra parte, lo complicado de la movilidad peatonal y ciclista, tanto a causa de la orografía como del planteamiento y estado del callejero (aceras, calles peatonales y carriles bici), hace que se opte por el vehículo a motor incluso para trayectos cortos.

Como consecuencia de esto, el reparto modal en Santander muestra un elevado uso de los vehículos a motor (un 41% de los viajes realizados según la encuesta domiciliaria hecha en 2015)⁵ Estos vehículos, además, suelen ser de combustión interna, asunto problemático como veremos más adelante.

En las siguientes imágenes y tablas se muestran estos datos de reparto modal y se realiza una comparativa con algunas ciudades españolas con características parecidas a Santander.

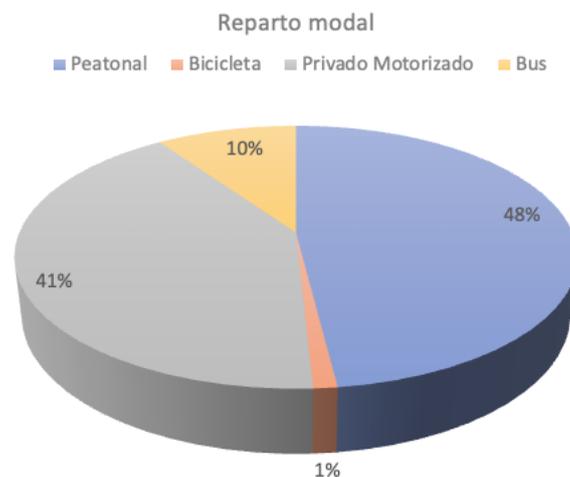


Ilustración 6: Reparto modal de los viajes internos de Santander. Fuente: Estudio de Viabilidad de la red de Movilidad Sostenible (Santander 2055), SUM+LAB

³ <https://www.santander.es/content/tus-cerro-2019-mas-195-millones-usuarios>

⁴ Memoria anual DBus 2019, página 16: https://www.dbus.eus/wp-content/uploads/2020/06/2_DBUS_MEMORIA_2019_CAST_baja.pdf

⁵ SUM+LAB. Estudio de Viabilidad de la red de Movilidad Sostenible (Santander 2055). 2021.

En su Informe del Observatorio de la Movilidad Metropolitana del 2020⁶, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana muestra el reparto modal de los distintos tipos de viajes que se realizan en las áreas metropolitanas españolas. Se adjunta en la Tabla 2 el reparto modal de los viajes internos de cada uno de los municipios estudiados.

Municipio	Población	Año	Vehículo privado	Transporte público	Movilidad activa	Otros
Madrid	3.305.408	2018	25,4 %	34,4 %	38,8 %	1,3 %
Barcelona	1.636.732	2021	16,1 %	16,3 %	66,4 %	1,2 %
Valencia	789.744	2018	21,5 %	21,8 %	55,3 %	1,4 %
Sevilla	684.234	2007	39,9 %	19,3 %	40,8 %	0,0 %
Bilbao	346.405	2008	10,9 %	26,8 %	62,3 %	0,0 %
Oviedo	217.552	2017	24,7 %	8,5 %	66,4 %	0,4%
Málaga	577.405	2017	43,5 %	8,2 %	46,9 %	1,4 %
Palma	419.366	2010	45,6 %	12,7 %	41,5 %	0,2 %
Cádiz	114.244	2014	18,3 %	18,4 %	59,7 %	3,6 %
Zaragoza	675.301	2017	26,9 %	23,7 %	48,8 %	0,6 %
Donostia – San Sebastián	188.102	2016	30,9 %	17,2 %	50,3 %	1,3 %
Tarragona	135.436	2020	35,4 %	8,0 %	56,1 %	0,4 %
Granada	231.775	2015	36,5 %	15,6 %	45,2 %	2,7 %
Alicante	337.304	2018	48,9 %	11,6 %	38,7 %	0,7 %
A Coruña	245.468	2018	31,6 %	15,4 %	52,8 %	0,2 %
Valladolid	297.775	2015	30,0 %	13,1 %	52,9 %	4,6 %
Pamplona	203.081	2013	24,9 %	12,3 %	61,7 %	1,1 %
León	122.051	2009	29,5 %	5,6 %	64,6 %	0,3 %
Cáceres	95.418	2013	56,5 %	9,7 %	33,5 %	0,0 %
SANTANDER	172.221	2015	41,0 %	10,0 %	49,0 %	0,0 %

Tabla 2: Reparto modal de los viajes realizados en el interior de los municipios estudiados por el OMM y comparación con Santander. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Observatorio de la Movilidad Metropolitana, del SUM+LAB y del INE.

Habiendo cruzado estos datos de movilidad con los de población (como ya se ha hecho en la Tabla 2), se ha podido realizar un filtro de las ciudades con mayor similitud tanto en lo que a población y año del estudio respecta, tal y como se muestra en la Ilustración 7.

Con estos factores en cuenta se ha optado por seleccionar las ciudades de Donostia – San Sebastián, Pamplona, Oviedo y Tarragona como aquellas que ofrecen las mejores comparaciones posibles con Santander. Se da también el hecho de que todas ellas forman parte del norte peninsular, siendo además 2 de ellas de la Cornisa Cantábrica y una tercera, Pamplona, muy cercana.

⁶ Observatorio de la Movilidad Metropolitana. Informe OMM 2019 – Avance 2020. Julio 2021. Accesible en: <https://observatoriomovilidad.es/informes/>

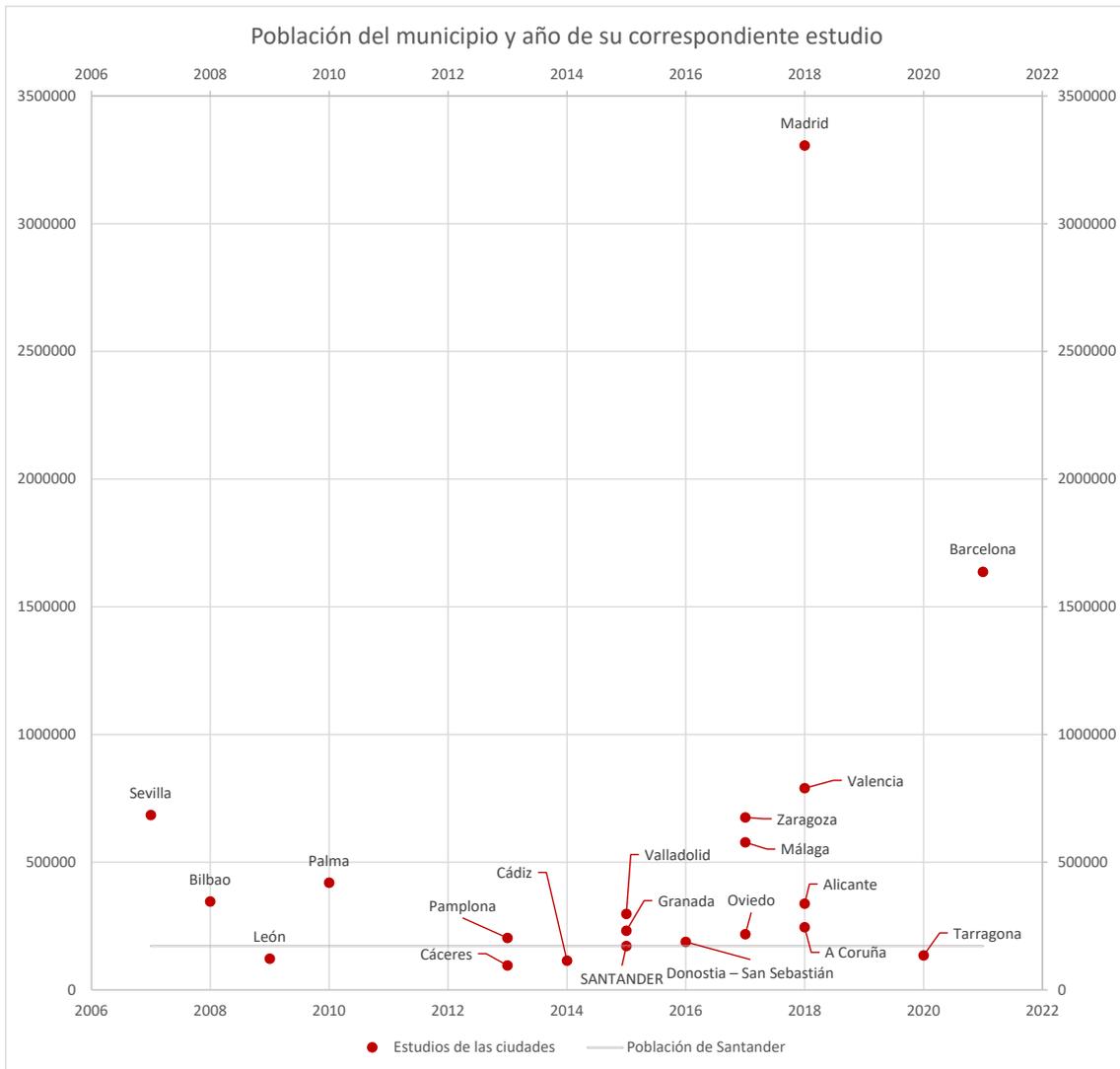


Ilustración 7: Población de los municipios estudiados y año de su correspondiente estudio. Fuente: elaboración propia.

Tal y como se puede ver en la Ilustración 8, Santander sale claramente perdedora de una comparación con las otras cuatro ciudades seleccionadas en materia de movilidad, puesto que se trata de la ciudad que muestra los datos más bajos de viajes realizados en modos de transporte que no son el vehículo privado. Se trata, además, de la ciudad que muestra una menor parte modal para la movilidad activa.

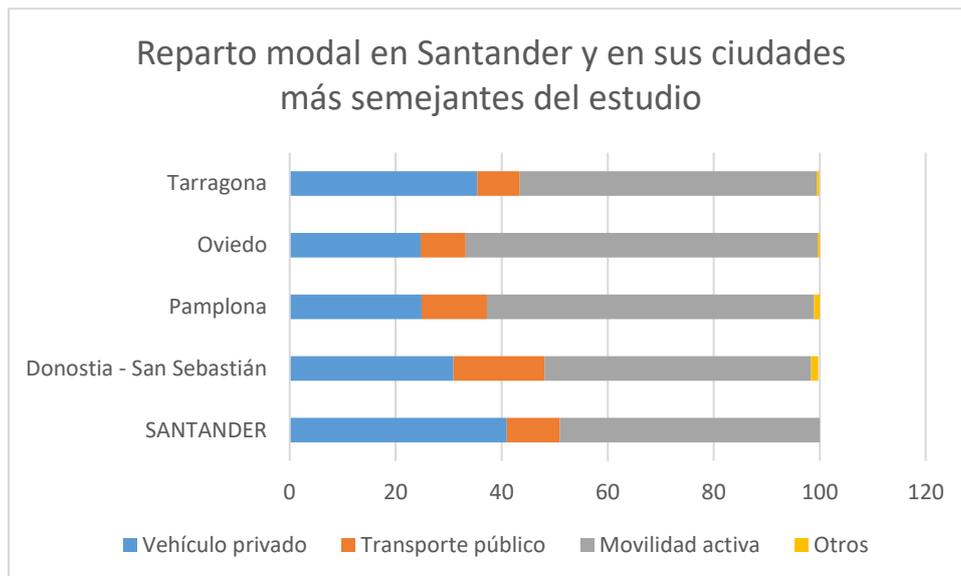


Ilustración 8: Reparto modal en Santander, Tarragona, Oviedo, Pamplona y Donostia -San Sebastián. Fuente: elaboración propia a partir de datos del Observatorio de la Movilidad Metropolitana y del SUM+LAB.

La conectividad con el resto de los municipios del área metropolitana tampoco muestra mejores datos, probablemente por motivo de su planteamiento a nivel de transporte público, en el que no se contempla que la superposición de servicios suponga una complementación entre autobuses urbanos e interurbanos. Sí que se destaca, al menos, el esfuerzo por realizar una red interurbana de carriles bici.

Tal y como se ve en la Ilustración 9, las líneas de autobús que conectan las cercanías con Santander realizan recorridos con una importancia relativa alta por zonas pertenecientes al término municipal de Santander durante los que, no obstante, no se les permite recoger pasajeros (en sentido Santander) o que éstos se apeen (en sentido afueras).

Una reestructuración que tuviera esto en cuenta permitiría dejar de solapar con autobuses urbanos estos tramos en los que las líneas interurbanas no están autorizadas a prestar servicio a pesar de que los recorran, para poder reasignar dichos autobuses urbanos y aumentar frecuencias o establecer nuevas líneas mejorando algunos tiempos de viaje en la ciudad.



Ilustración 9: Líneas de autobús de las cercanías de Santander. Fuente: SUM+LAB

Los datos de uso de autobuses del área metropolitana (excluidos los autobuses urbanos de Santander) muestran unos bajos valores y un estancamiento en sus usuarios, tal y como se puede observar en la Tabla 3.

Código	Línea	2015	2016	2017	2018	2019
K-9	MORTERA - LIENCREs-SANTANDER	505.175	538.722	540.698	551.012	541.679
K-20	SANTANDER - SIERRA PARAYAS (Incluye Aeropuerto)	287.111	271.913	292.069	315.189	308.104
k-25	SANTANDER - MAOÑO	44.957	48.105	32.085	26.308	22.393
K-29	ORUÑA - BEZANA - SANTANDER	52.106	53.699	52.316	54.170	52.872
K-34	SANTANDER - MALIAÑO ASTILLERO	1.530.211	1.498.411	1.496.096	1.522.263	1.516.074
K-39	SANTANDER - ESCOBEDO	47.659	49.318	30.285	22.057	18.380
	TOTAL	2.469.234	2.462.184	2.445.566	2.493.017	2.461.521

Tabla 3: Viajeros anuales por línea de autobús de las cercanías de Santander. Fuente: Estudio de Viabilidad de la red de Movilidad Sostenible (Santander 2055), SUM+LAB

Los datos de usuarios de los servicios de cercanías de RENFE (incluyendo los de la antigua FEVE), que se muestran en la Tabla 4, no presentan números que permitan decir que su uso compensa

al de los autobuses. Es más, su uso ha experimentado años de fuerte bajada debido al deterioro de los servicios, sangría a la que parecía habersele puesto freno en los últimos años previos a la pandemia de la Covid-19.

	2011	2015	2016	2017	2018	2019
Renfe	1.035.000	670.000	639.000	636.000	623.000	700.000
Feve	3.870.296	3.200.000	2.900.000	2.977.602	3.055.203	3.100.000
TOTAL	4.905.296	3.870.000	3.539.000	3.613.602	3.678.203	3.800.000

Tabla 4: Viajeros de los servicios de cercanías por ferrocarril de Cantabria. Fuente: Estudio de Viabilidad de la red de Movilidad Sostenible (Santander 2015), SUM+LAB

Cabe destacar que, dadas las distancias de los viajes cubiertos por estos servicios, con esta disminución de uso lo que sucede es un trasvase de modo hacia el vehículo privado, que además se ve beneficiado por la infraestructura existente. La planificación a mayor escala de los últimos años ha consistido en completar la red viaria para la conexión por automóvil, dejando de un lado la inversión en ferrocarril.

Así las cosas, se favorece el proseguir con el actual modelo que se basa en un tráfico que, a medida que aumenta, satura las infraestructuras existentes dejándolas obsoletas y demanda su ampliación, con las fuertes inversiones que ello supone.

Sin embargo, es de sobra sabido ya que los vehículos privados son la forma menos eficiente de hacer uso de la infraestructura, por el espacio que ocupa cada uno de ellos a la hora de transportar pasajeros y cargas, sobre todo si se tiene en cuenta la ocupación que éstos suelen tener.

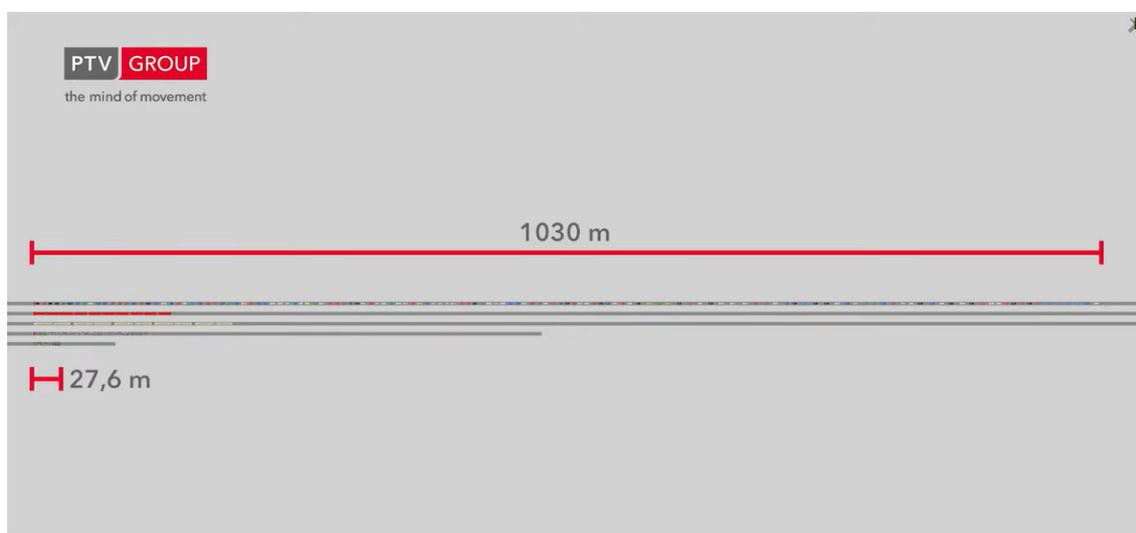


Ilustración 10: Representación del espacio que ocupan 200 personas según su modo de transporte: de arriba hacia abajo, automóviles, autobuses, tranvías, bicicletas y peatones. La segunda fila más larga, la de los tranvías, tiene una longitud menor que 1/5 de la de los automóviles. Fuente: PTV Group en YouTube.

Cabe por lo tanto plantearse si, en lugar de hacer nuevas inversiones en infraestructura para automóviles privados y vehículos de carga del mismo estilo, no convendría buscar una alternativa que haga un uso más eficiente de la ya construida.

Por último, como se deduce del caso del ferrocarril, la ausencia de servicios de transporte colectivo que permitan sustituir el transporte individual mediante vehículo privado viene también causada por la falta de infraestructuras, que vamos a tratar a continuación.

1.3.2. Infraestructuras de transporte

Al núcleo urbano de Santander acceden dos viales de alta capacidad (las autovías S-10 y S-20) de forma poco separada, pues apenas distan 1650 metros en línea recta de los lugares en los que cada una de ellas vierten la mayoría de su tráfico al viario urbano: glorieta de La Marga en el caso de la S-10, y glorieta en la intersección con la calle Josefina de la Maza en el caso de la S-20.

Más revelador es el dato cuando se ven las carreteras nacionales que llegan a Santander, pues las glorietas en las que terminan la N-611 y la N-623 (a la que se le suma en Muriedas la N-635) apenas distan 350 metros la una de la otra.

No se debe despreciar la importancia de las carreteras nacionales a la hora de realizar este análisis cualitativo. La función histórica de algunas de estas vías, la de vertebrar el estado conectando los principales núcleos de población y actividad entre ellos, ha sido relegada por la construcción de autopistas y autovías, haciendo que las carreteras nacionales queden desplazadas a tener funciones de vertebración local y conexión con los barrios que crecieron a su vera.

De hecho, hoy en día buena parte de los trayectos de largo recorrido que parten de Cantabria y van hacia el oeste se hacen por la A-8, al igual que sucede con las conexiones hacia el este; para los recorridos hacia el sur se utiliza la A-67. Como estos trayectos ya no se realizan por carreteras nacionales, éstas han visto su tráfico muy reducido y, como consecuencia, no requieren ser actualizadas a mejores estándares, quedando su trazado como vestigio y testigo en el caso que nos aplica.

El caso de los ferrocarriles también es revelador, pues las tres líneas (Santander – Bilbao, Santander – Oviedo y Santander – Venta de Baños), independientemente de su ancho, entran a la ciudad por prácticamente el mismo eje.

Cabe recordar que, en cuanto a las infraestructuras de transporte que conectan la ciudad de Santander tanto con el resto de su área metropolitana como con otros lugares con los que se producen importantes desplazamientos, y yendo más allá de los problemas de tráfico, es importante disponer de una redundancia que, sin caer en los sobrecostes desmesurados, haga que en caso de cierre total o parcial de alguno de los ejes la ciudad y la región no se vean severamente perjudicadas por ello.

Si bien es verdad que lograr dicha redundancia es difícil en las infraestructuras para largos recorridos dado el nivel de inversión que ello puede suponer, sí que se podría buscar, mediante una red mejor interconectada y más densa de ferrocarriles y carreteras en los alrededores de Santander, conseguir unos valores que favorecieran la resiliencia del sistema actual.

Otras alternativas menos inversionistas para conseguir dichos niveles de redundancia pasan por reducir su uso, diversificando los modos de transporte que se utilizan. Por ejemplo, esto podría hacerse añadiendo alternativas que no requieran de dicha infraestructura, resultando en una mayor redundancia de la misma. Al mismo resultado se llegará también si se busca maximizar la carga de los vehículos que la usan, a igual número de pasajeros y mercancías transportados.

1.4. Causa número 3: el nuevo paradigma de logística urbana dado por la atomización de los envíos

La llegada de las compras por internet ha supuesto que los envíos que antes se hacían de forma condensada a las tiendas ahora se hayan visto atomizados para ser despachados de forma individual. Esto ha venido, además, ayudado por una serie de factores.

La separación entre zonas en las ciudades ha tenido como consecuencia la pérdida del hecho que en todos los barrios los usos residenciales y comerciales se entremezclen, llegando incluso a generarse hipercentros sin residencias, con comercios y oficinas como únicos usos.

Por otra parte, nos encontramos también con barrios de reciente creación y usos exclusivamente residenciales sin locales comerciales en sus edificios, ya sea por falta de tiempo para que se hayan implantado (habiéndose en realidad, en bastantes sitios, consumido un hipotético plazo de gracia para ello, puesto que los residentes ya han tomado el hábito de realizar sus compras fuera de su barrio), o por falta de espacio físico porque los bajos de las promociones inmobiliarias construidas han quedado para más viviendas o para garajes.

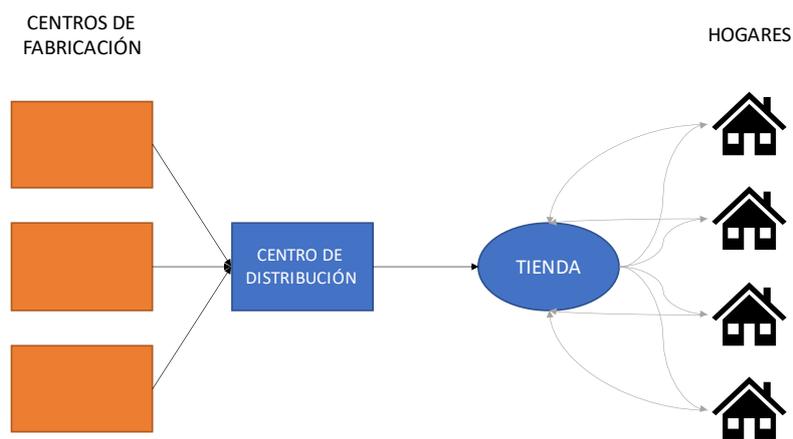
Además de lo anterior, hay que destacar el surgimiento de los centros comerciales bajo un mismo techo y acompañados de hipermercados, que se ubican a las afueras de las ciudades, alejados de zonas residenciales o conectados a éstas mediante viario hostil hacia todo modo de transporte que no sea el vehículo privado.

Al haberse generado de estas tres maneras polos comerciales separados de los polos residenciales, se requiere un mayor desplazamiento por parte de los vecinos a la hora de hacer sus compras.

En la Ilustración 11 se muestra un esquema simplificado⁷ del sistema tradicional de movimiento de mercancías para productos de uso o consumo en hogares. En el mismo, se muestran en color negro los desplazamientos que se hacen a cuenta del sistema de producción y reparto, que se realiza por lo general de forma más condensada, aglutinando cargas para aprovechar viajes y, de esta forma, reduciendo costes, emisiones y recursos utilizados.

En el mismo esquema, se muestran en gris los viajes que se realizan a cuenta de los compradores finales, que es la parte “atomizada” de los viajes dentro de este sistema, la que se compone de viajes con cargas mucho menores, realizados de forma individual por cada comprador y, por lo tanto, mucho menos optimizados en materia de costes, emisiones y recursos utilizados.

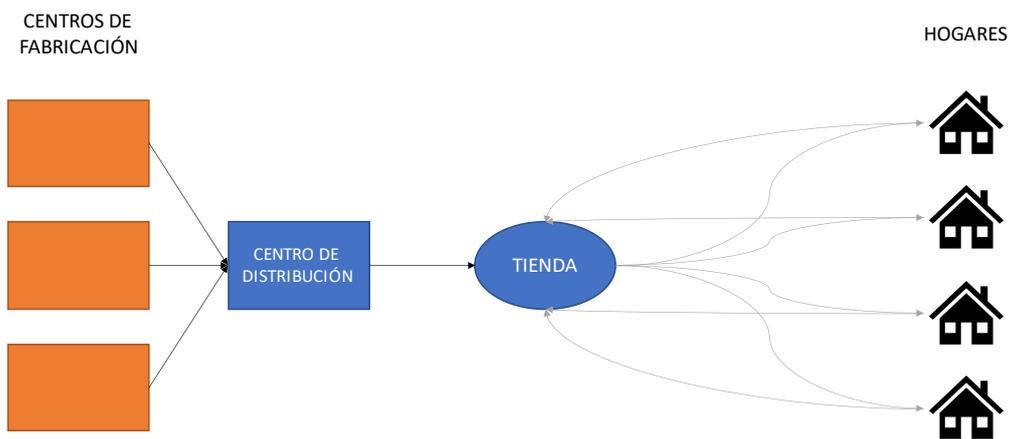
⁷ Puede haber múltiples centros de distribución y múltiples tiendas también, con la combinación de viajes posibles que ello implica.



Viajes a cuenta del sistema de producción y reparto
 Viajes a cuenta del comprador final

Ilustración 11: Esquema tradicional del sistema de movimiento de mercancías para productos de uso o consumo en hogares. Fuente: elaboración propia.

Como se podrá deducir, el alejar los hogares de los comercios supone un aumento de vehículos – kilómetro mucho mayor que cuando se alejan las tiendas de los centros de distribución. Esta idea se muestra en la Ilustración 12, en la que los hogares quedan algo más alejados de la tienda: la suma de kilómetros recorridos en todo el sistema aumenta de forma exponencial, dependiendo este exponente del número de hogares afectados por esta lejanía. Además, lo que aumenta son precisamente los viajes menos eficientes en materia de capacidad de carga utilizada por los vehículos.



Viajes a cuenta del sistema de producción y reparto
 Viajes a cuenta del comprador final

Ilustración 12: Variación sobre el esquema tradicional del sistema de movimiento de mercancías para productos de uso o consumo en hogares, en el que se han alejado los hogares de las tiendas. Fuente: elaboración propia.

Esto puede llegar a tener importantes consecuencias en materia de tráfico, especialmente en casos como el de Santander donde todos los centros comerciales se sitúan en el mismo lateral

de la ciudad, con una fuerte concentración sobre todo entre los dos más grandes, Bahía Real y Valle Real. Además, para la población de su área metropolitana, su número de es muy importante.

Por poner un ejemplo comparativo, en la vecina Bilbao, con un área metropolitana de 900.000 habitantes, se cuentan 6 (Max Center, Bilbondo, Artea, Ballonti, Megapark y Zubiarte, obviaremos El Corte Inglés en ambas ciudades), mientras que en Santander, con un área metropolitana ligeramente inferior a los 300.000 habitantes, hay 4 (Valle Real, Bahía Real, Peñacastillo y El Alisal). A esto hay que añadir que en Bilbao, si bien 4 (Max Center, Artea, Ballonti y Megapark) se encuentran en su noroeste, uno de ellos (Artea) queda en la margen derecha del Nervión con lo que ello implica a nivel de saturación de las vías de comunicación. Bilbondo se encuentra al sudeste y Zubiarte en plena ciudad.

Este asunto de los centros comerciales tiene una importante serie de implicaciones a nivel de tráfico: por una parte, está el ya mencionado aumento de vehículos – kilómetro en la red y, por otra, el efecto de concentración que se genera sobre los ejes que llevan a los centros comerciales, algo especialmente crítico en el caso de la S-10 pues comunica el centro de Santander con El Corte Inglés, Valle Real y Bahía Real.

Estos aumentos de distancias y de tráfico han ayudado a que las compras por internet, con sus implicaciones (de las que hablaremos más abajo), se hayan asentado como opción cada vez más socorrida para los hogares, puesto que resultan mucho más convenientes que el realizar desplazamientos que pueden superar la hora entre los trayectos de ida y de vuelta, especialmente si la compra va a ser de poca enjundia.

La reciente pandemia de la Covid-19 también ha generado, en algunas personas, sentimientos reacios a coincidir con mucha gente en espacios cerrados, como pueden ser los casos de desplazarse en transporte público o de acudir a centros comerciales y tiendas muy frecuentadas. Como consecuencia, y puesto que las compras siguen siendo necesarias, en el momento en que la persona no va a la tienda, es la mercancía la que va donde la persona: le es enviada tras un pedido hecho por remoto.

Esto ha sido particularmente extendido durante los peores meses de la pandemia, especialmente en 2020, y ha quedado como hábito común entre mucha gente una vez superada esa etapa inicial, dada la comodidad que ello supone.

Además de estos dos factores, hay un crecimiento motivado por otras causas, como la comodidad para el usuario, el efecto aglutinador de la clientela que tiene el disponer de absolutamente todo en una sola plataforma (como es el caso de Amazon), o las agresivas estrategias de las propias plataformas. La resultante de todo esto es que, hoy en día, el 80% del reparto que se realiza en las ciudades corresponde a compras hechas en línea⁸.

Otra de las consecuencias es que los viajes que anteriormente se realizaban por parte de los clientes ahora se realizan a cuenta de los distribuidores. Así, los trayectos que antes podían ser, en algunos casos, hechos a pie o en transporte público (notablemente aquellos que iban a tiendas en el centro de la ciudad), ahora pasan a ser hechos en vehículos de carga motorizados, que en su mayoría suelen ser de combustión interna.

⁸ <https://informacionlogistica.com/la-distribucion-de-ultima-milla-como-el-perro-del-hortelano/>. Consultado en noviembre de 2022.

Si bien estos viajes ya no son tan individuales porque las furgonetas de los repartidores, al fin y al cabo, llevan varios envíos, pero su sistema sigue muy lejos de una eficiencia óptima: por una parte, las furgonetas no parten cargadas al máximo por lo que están sobredimensionadas y, por otra parte, se van vaciando gradualmente a medida que van realizando entregas, resultando en un sobredimensionamiento del vehículo aún más acentuado.

Este sobredimensionamiento del vehículo, además, no se ve reflejado en una disminución en el uso de la capacidad de la red viaria, pues sigue demandando lo mismo de ella. En otras palabras, el vehículo, por lo poco flexible que es, se come todo el sobredimensionamiento de la oferta en vehículos para la demanda en mercancías a la que atiende. Esto trae como consecuencia que, a nivel de número de vehículos, la demanda de red viaria sea más alta para una menor cantidad de mercancías transportadas. Agravamos así la ineficiencia de las infraestructuras de la que hemos hablado en el epígrafe anterior.

En la Ilustración 13 se muestra un esquema simplificado, análogo al anterior, pero representando el sistema de reparto de productos a los hogares. En este caso se han eliminado los viajes a cuenta de los compradores, pues todos se realizan ya a cuenta de los distribuidores.

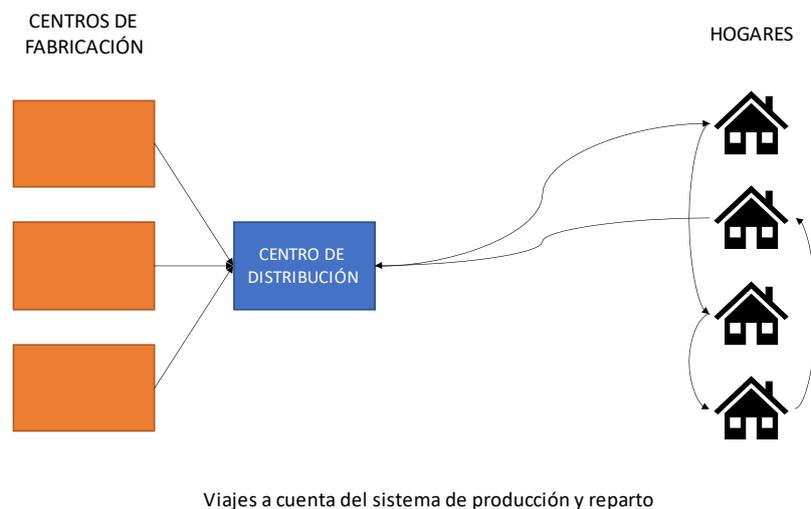


Ilustración 13: Esquema de reparto de mercancías a los hogares. Fuente: elaboración propia.

Lo expuesto hasta ahora es en realidad una simplificación de lo que acontece. Solamente una parte de los viajes a las tiendas se ven sustituidos por los nuevos sistemas de compra en línea y reparto a domicilio. Esta sustitución no solamente es parcial atendiendo al conjunto de la población, sino también cuando se analizan los hábitos de cada persona de manera individual.

Como resultado de esto, no hay un descenso de viajes en un lado que compense el aumento en el otro, sino que simplemente no sucede dicha compensación, haciendo que en consecuencia el aumento sea aún más neto. Como resultado de esto, aumentan también la polución y consumos de materias energéticas ligados al transporte de mercancías en la ciudad.

Hay todavía más motivos para seguir argumentando que el paradigma actual de reparto de mercancías en las ciudades (y, particularmente, para Santander), es altamente ineficiente, por la parte de los envíos a domicilio de compras hechas en línea.

El primero de ellos está relacionado con el habitual fenómeno de ausencia del cliente en su hogar a la hora del reparto, lo que en muchos casos implica que haya que realizar un segundo viaje al día siguiente para intentar de nuevo la entrega del paquete.

Otro motivo importante es la gran concentración que se fomenta por parte de las plataformas de compra en línea (tanto las generalistas como las pertenecientes a cadenas de ropa o de otros productos) de sus ventas en periodos muy concretos del año, hecho además fomentado por las mismas con agresivas campañas de navidad o, de forma más reciente, de días específicos como el “*black friday*”.

Esto genera tensiones no solamente sobre el sistema de reparto final al cliente (que no suele ser lo suficientemente flexible para atender la demanda de envíos de esas fechas), sino también sobre las piezas anteriores del puzle, puesto que suele ser necesaria una mayor capacidad para atender dicha demanda, debido al sistema “*just-in-time*” que tienden a tener estas plataformas.

Sin embargo, en el caso del comercio tradicional, las rebajas no generan semejante aumento de volumen de viajes por parte del sistema de producción y distribución porque los periodos de rebajas consisten, básicamente, en una deliberada reducción de stock ya existente en las tiendas.

Sí que, con el sistema tradicional de comercio urbano, se aumenta la producción para la campaña de invierno, pero si bien esto causa un aumento en los envíos a las tiendas, no genera un aumento proporcional de los viajes de los consumidores, pues son por lo general viajes preexistentes, en los que el aumento en consumo se ve principalmente reflejado en una mayor compra aprovechando el viaje. La mayor afluencia en las tiendas, por lo tanto, si bien se explica de manera parcial por un aumento del número de viajes de los consumidores (que no se niega que lo haya), se da sobre todo porque se recorren más tiendas de un solo viaje.

1.5. Consecuencias: sostenibilidad del modelo actual

Cuando las consecuencias de un comportamiento tienen un impacto sobre su propia sostenibilidad y la del ambiente que le rodea y del que se nutre, únicamente cabe actuar de forma decidida sobre dicho comportamiento antes de que éste termine consigo mismo y con su entorno. De no ser así, de la cultura de la movilidad actual resultaría un colapso caótico perjudicando seriamente el bienestar social y la economía.

En primer lugar, y como consecuencia más conocida dada la educación que vamos adquiriendo a nivel del conjunto de la sociedad, están los impactos ambientales, sobre todo aquellos que suceden sobre el medio urbano pues son los que nos afectan de forma más directa.

Los impactos más notorios dentro de este aspecto son las emisiones de contaminantes nocivos al aire de la ciudad por la que circulan los vehículos, a saber: emisiones de partículas microscópicas (habitualmente llamadas PMs – del inglés “*particulate matters*” – y divididas según su tamaño en micras entre las $PM_{2,5}$ y las PM_{10}), emisiones de óxidos de nitrógeno (llamados NOx, siendo el más destacable de ellos el dióxido de nitrógeno, NO_2), emisiones de dióxido de azufre (SO_2) y emisiones de ozono (O_3).

Para todas estas emisiones, la Organización Mundial de la Salud establece una serie de parámetros máximos a no ser superados⁹, que se indican en la Tabla 5.

⁹ [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Tipo de emisión	Valor máximo temporal / de punta	Valor máximo sostenido / fuera de punta
PM _{2,5}	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24 horas.	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en todo el año.
PM ₁₀	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24 horas.	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en todo el año.
Ozono (O ₃)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 8 horas consecutivas, permitiéndose 3 días en los que se exceda (percentil 99).	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 8 horas, a lo largo de los 6 meses con mayor concentración de ozono.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24 horas.	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en todo el año.
Dióxido de azufre (SO ₂)	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media en 24 horas.	Sin indicaciones.

Tabla 5: Valores máximos de índices de calidad del aire. Fuente: elaboración propia a partir de las indicaciones de la OMS.

Paralelamente, se han obtenido los datos de la Red de Calidad del Aire de Cantabria¹⁰ correspondientes a las dos estaciones ubicadas en Santander: Tetuán y Santander Centro durante todo el año 2021.

Tal y como se muestra a continuación (Ilustración 14 e Ilustración 15, con resumen en la Tabla 6), el incumplimiento de estos límites es notorio, habiéndose superado los niveles máximos recomendados por la OMS en dos tercios de los parámetros de los que se dispone de datos. Si a ello le sumamos los datos para los que no hay mediciones como incógnitas, obtenemos que únicamente tenemos certeza de que estos niveles recomendados se cumplen para menos de un 25 % de los parámetros para los que la OMS marca límites.

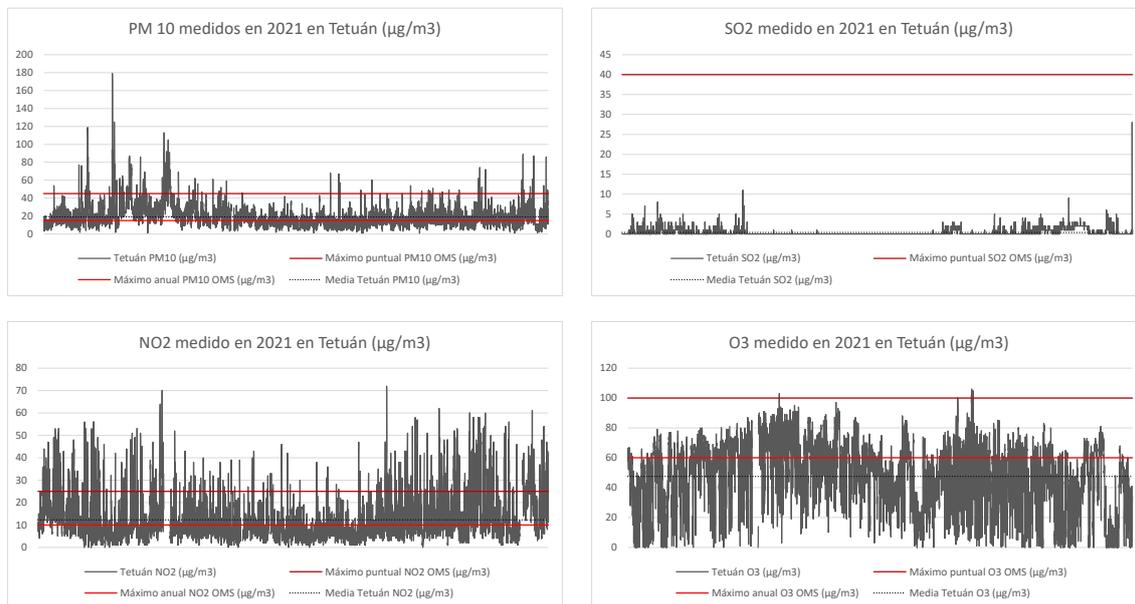


Ilustración 14: Parámetros de calidad del aire en Tetuán y su comparación con los requisitos de la OMS. Fuente: elaboración propia con datos de la Red de Calidad del Aire de Cantabria y de la OMS.

¹⁰ <https://airecantabria.com/index.php>

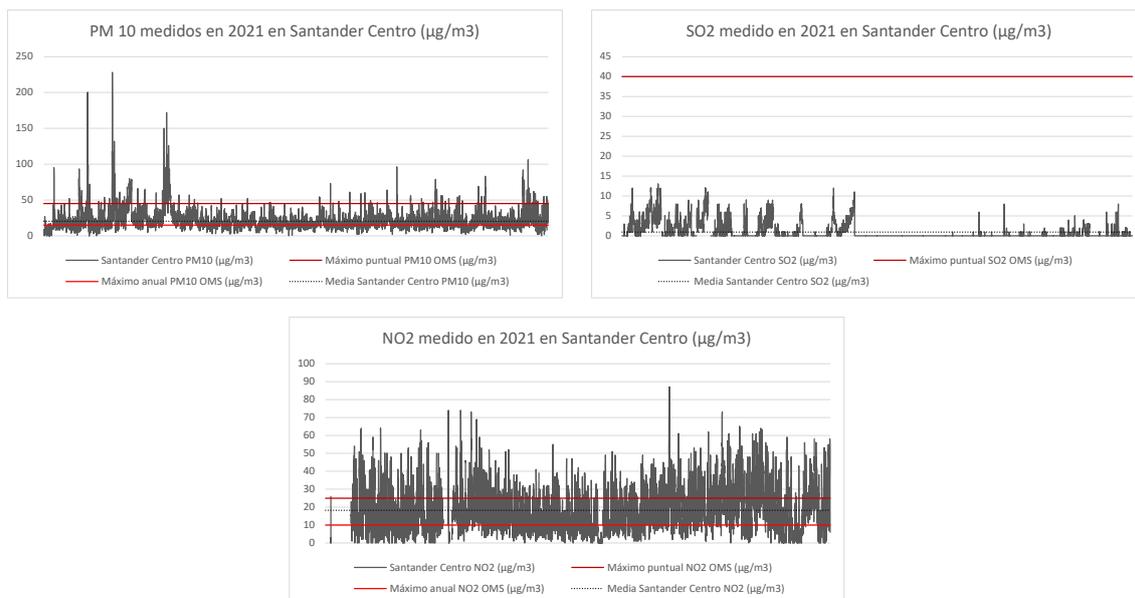


Ilustración 15: Parámetros de calidad del aire en Santander Centro y su comparación con los requisitos de la OMS. Fuente: elaboración propia con datos de la Red de Calidad del Aire de Cantabria y de la OMS.

Estación	PM _{2,5} , pico	PM _{2,5} , anual	PM ₁₀ , pico	PM ₁₀ , anual	O ₃ , pico	O ₃ , anual	NO ₂ , pico	NO ₂ , anual	SO ₂ , pico
Tetuán	SIN DATOS	SIN DATOS	INCUMPLE	INCUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	INCUMPLE	INCUMPLE	CUMPLE
Santander Centro	SIN DATOS	SIN DATOS	INCUMPLE	INCUMPLE	SIN DATOS	SIN DATOS	INCUMPLE	INCUMPLE	CUMPLE

Tabla 6: Nivel de cumplimiento de Santander en calidad del aire. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Red de Calidad del Aire de Cantabria y de la OMS.

Entre los efectos nocivos demostrados como consecuencia de la presencia de estos contaminantes en el aire que respiramos hay todo tipo de enfermedades, desde respiratorias hasta cardiovasculares, además de cáncer de varios órganos. Los siguientes párrafos provienen todos de las recomendaciones de calidad del aire de la OMS¹¹.

Así, las partículas finas (PMs) se han demostrado causantes (o generadoras de mayor riesgo) de morbilidad, enfermedades cardiovasculares y pulmonares varias y de cáncer de pulmón. Su origen es principalmente la combustión de carburantes.

El ozono es un muy importante causante de asma, llegando a niveles que causan la muerte por este motivo, y su generación viene dada principalmente por las emisiones de compuestos orgánicos volátiles por parte de industrias y de vehículos de combustión interna.

Los dióxidos de azufre y de nitrógeno causan, por su parte, asma, problemas de bronquios e inflamación pulmonar y, a nivel general, una reducción en la funcionalidad pulmonar de quien se expone a ellos, síntoma particularmente estudiado en Europa y Norteamérica, continentes con ciudades ya consolidadas en su crecimiento y en los que, teóricamente, se están realizando mayores acciones para atajar este tipo de emisiones.

El dióxido de azufre causa, además de lo ya mencionado, irritación ocular y una mayor susceptibilidad a las infecciones del tracto respiratorio. También se ha demostrado un aumento de las hospitalizaciones por enfermedades cardíacas en días con mayores niveles de SO₂ en el

¹¹ [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). Consultado en diciembre de 2022.

ambiente. Por último, hay que destacar que, al mezclarse dióxido de azufre (SO₂) con agua (H₂O) se forma ácido sulfúrico (H₂SO₄), un potentísimo ácido que suele estar tras las lluvias ácidas que causan muy serios problemas sobre el suelo.

El dióxido de nitrógeno de origen antrópico proviene principalmente de los procesos de combustión que se dan en la generación de energía eléctrica y en los vehículos. El dióxido de azufre comparte dichos orígenes, además del uso de combustibles a nivel doméstico para calefacción.

Además de los propios problemas de salud que se acaban de mencionar, y que ya de por sí deberían ser justificación suficiente para exigir una urgente toma de medidas severas, la conciencia social en aumento frente al hecho de que continúen estas emisiones nocivas hace que sea un serio requerimiento la toma de medidas eficaces ante estas emisiones.

Como respuesta, ya se están preparando en todas las ciudades españolas de más de 50.000 habitantes zonas de bajas emisiones (ZBEs), mediante las cuales se limitará el acceso al centro de éstas a los vehículos en teoría más contaminantes, de manera progresiva con el paso de los años.

No está de más recordar que la sostenibilidad ambiental es únicamente un componente (indispensable, eso sí) de la sostenibilidad en su conjunto. A pesar de ello, al estar todo interconectado, no cabe duda de que un paradigma de transporte ambientalmente más sostenible hará que éste sea, como consecuencia parcial, más sostenible también en su plano social.

Hay numerosos estudios que vinculan la sostenibilidad ambiental y los beneficios sociales de la misma, no solamente sobre la salud como ya se ha mencionado. De cualquier forma, es bien sabido ya que, ante las enfermedades como las que pueden surgir a cuenta de la contaminación ambiental en las ciudades, es la gente con menos recursos quien se ve más perjudicada.

Por todos estos motivos, se propone analizar la reducción de las emisiones que la solución permitiría obtener, al no poder realizar un análisis de ciclo de vida (ACV) comparativo de los impactos ambientales de las movi­lidades por falta de recursos para ello en este trabajo.

Se ha mencionado ya varias veces la necesidad de recursos energéticos para la movilidad en las ciudades (y entre ellas) y, ante la situación actual de escasez de los mismos, también es conveniente velar por la eficiencia de su uso.

Al igual que sucede con los problemas medioambientales y la forma de la que nos vienen alertando desde hace ya 60 años¹², tenemos en la actualidad múltiples avisos de los límites del crecimiento que estamos experimentando desde la revolución industrial, crecimiento que, si bien asumimos infinito, no obstante no deja de estar basado en el uso de combustibles fósiles, que sabemos a ciencia cierta que son finitos y no renovables.

¹² Se suele considerar que “Primavera Silenciosa” (de Rachel Carson, publicado por primera vez en EEUU por la editorial Houghton Mifflin en 1962) es el primer libro que denunciaba los múltiples impactos sobre el medio ambiente que los hábitos humanos (particularizado en el uso de pesticidas) causan. Si bien el libro se centra en los pesticidas, sí que trata en su conjunto la totalidad de impactos (por aquél entonces) conocidos sobre el medio ambiente y sus diversas partes, de forma detallada para cada una de éstas, haciendo ver que los impactos ambientales suceden a muchos niveles, pues todo está interconectado.

Quizá el máximo exponente actual de esta idea sea el ingeniero agrónomo y biólogo francés Pablo Servigne quien, en su libro escrito junto con Raphael Stevens, “Colapsología”¹³, ahonda en los límites hacia los que nos estamos dirigiendo. En literatura escrita en castellano, destacan las obras del físico y matemático e investigador del CSIC Antonio Turiel¹⁴ y del politólogo y profesor universitario jubilado Carlos Taibo¹⁵.

Ante la situación actual, y dada la existencia de literatura con suficiente calidad y base científica para sugerir actuaciones al respecto, se sugiere, de cara al futuro también, que para profundizar en este tipo de soluciones se comiencen a hacer análisis comparativos de la cantidad de recursos energéticos necesarios, de forma análoga a lo que se puede realizar con los impactos medioambientales.

¹³ Originalmente publicado en francés bajo el título “Comment tout peut s’effondrer” (Ed. Seuil, 2015), se considera el principal libro entre los que tratan la quimera de buscar un crecimiento infinito basado en la explotación un medio natural limitado, y las posibles consecuencias de que ante este problema predomine el “business as usual” o haya una huida hacia adelante en lugar de buscar reducir nuestro consumo de materias primas energéticas de forma ordenada. En él, se habla de los recursos energéticos sobre los que se basa el sistema actual y su necesidad de explotación creciente para que se mantenga el estado del bienestar que conocemos actualmente en el norte global. Ha sido traducido al castellano bajo el título “Colapsología” (Ed. Arpa, 2020).

¹⁴ Petrocalipsis (Ed. Alfabeto, 2020).

¹⁵ Colapso: capitalismo terminal, transición ecosocial, ecofascismo (Ed. Catarata, 2016).

2. Enfoque de la solución

Junto con la presentación de la problemática, se han mencionado ya dos formas de análisis de la solución que se vaya a proponer, lo cual es indicador de que el propio problema que se propone solucionar nos da ya, con su planteamiento, unas pinceladas de las directrices por las que buscar la misma. A continuación, a la par que se realiza una definición preliminar de la solución, pasaremos de lo conceptual, nivel en el que nos hemos movido en la introducción, a lo técnico, nivel en el que profundizaremos tras este apartado.

Lo primero a resolver es cómo buscamos definir la solución para la logística de Santander a nivel urbano, de qué ideas partir para ir perfilando el sistema acorde a ellas, en lo que es un proceso de lo que llaman en inglés “*backcasting*”: empezar por una definición a grandes rasgos de la imagen deseada, para posteriormente identificar los pasos a dar y que nos harán dirigirnos por el camino que llegue a dicho objetivo.

Hemos hablado ya en la introducción de múltiples problemas y las necesidades que conllevan:

- La necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de las infraestructuras.
- La necesidad de que haya una redundancia suficiente y las diversas formas de lograrlo (tanto inversionistas como de cambio de paradigma del transporte).
- En relación con estos dos primeros puntos, la necesidad de disponer de una red viaria con una alta resiliencia, por el bien del entorno urbano y las actividades económicas que cobija.
- La evolución reciente del sistema de reparto de mercancías hasta el usuario final y cómo es en la actualidad en materia de eficiencia, tanto respecto al uso eficiente de la infraestructura existente como al uso de recursos energéticos.
- El impacto ambiental que hay que atenuar¹⁶ y alguna de sus consecuencias sociales.
- La necesidad de reducir el uso de recursos energéticos, o de establecer un mayor control sobre el mismo.

De toda esta disertación podemos sacar en claro que la solución que busquemos debería buscar satisfacernos en todos estos frentes que tenemos abiertos. Es hora entonces de plantearnos si dicha solución la buscamos desde la alta tecnología o desde la sobriedad tecnológica, debate pocas veces tenido en cuenta porque en el campo de la ingeniería solemos tender, inercialmente, a una “sobre-tecnologización” de las soluciones.

2.1. ¿Sobriedad o alta tecnología?

Resulta esencial dar respuesta a esta pregunta para poder hacer una primera criba de los enfoques a tener en cuenta en la solución a proponer. Para ello, vamos primero a centrarnos en plantear bien la pregunta y exponer la disyuntiva que propone.

Una solución basada en la “alta tecnología” consistiría en resolver el problema aplicando, en la medida de lo posible, estrategias con un elevado nivel de componentes tecnológicos. Una maximización de la eficacia de dicha solución se buscaría mediante la inclusión de más tecnología.

¹⁶ Está ya ampliamente reconocido que ni tan siquiera en los países del norte global, donde se supone que tenemos más recursos para poder lograrlo, seremos capaces de cumplir con los acuerdos de París que buscaban limitar el calentamiento global a +1,5°C (<https://news.un.org/en/story/2022/10/1129912>). Los esfuerzos se concentran ahora en mitigar los impactos del cambio climático ya asumido y aprender a convivir con los efectos que ya está trayendo.

Una solución basada en la sobriedad (o frugalidad, si extendemos su significado a más ámbitos que el que le aporta el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua¹⁷) consistiría en resolver el problema mediante la aplicación, de nuevo en la medida de lo posible, de estrategias que buscan soluciones sencillas de implantar y ejecutar, pero no por ello renunciando a la eficacia de dicha solución. De hecho, este enfoque busca a la vez maximizar la eficiencia de dicha solución y una reducción del uso de recursos (ya sean humanos o materiales).

Conviene también recordar los significados de dos conceptos que acabamos de mencionar y que son habitualmente confundidos entre sí: “eficiencia” y “eficacia”:

- Eficacia: Capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera¹⁸.
- Eficiencia: Capacidad de lograr los resultados deseados con el mínimo posible de recursos¹⁹.

Como se puede ver por la sintaxis de ambas definiciones, la eficiencia es ir un paso más allá respecto a la eficacia. Teniendo en cuenta las necesidades que hemos mencionado para la solución a aportar a los problemas constatados, resulta necesario no quedarnos en la eficacia y llegar hasta la eficiencia en la propuesta de este trabajo.

Para poder figurarse cómo podrían ser unas soluciones de un estilo y de otro al problema planteado, se plantea una comparación mediante ejemplos entre dos sistemas en los que se ha simplificado la cadena de viajes de las mercancías en dos partes:

- 1 La llegada al área metropolitana (que podría ser la llegada de la mercancía a los almacenes y centros de consolidación, por ejemplo), y
- 2 la llegada al usuario final (que es el reparto habitualmente llamado “de última milla”).

Una solución “de alta tecnología” podría emplear en su fase de la llegada a la ciudad algunos de los siguientes vehículos: aviones (que requieren de grandes cantidades de energía para volar), grandes drones (similares a los aviones en consumo y capacidad de carga, pero no tripulados, con su consiguiente incremento de tecnología), camiones de conducción autónoma u otros medios que requirieran de una infraestructura (ya sea física o de datos) compleja.

En la fase de llegada al usuario, los vehículos podrían ser de nuevo drones o furgones autónomos, patinetes eléctricos o robots de reparto de algún tipo.

En un sistema frugal, la llegada a la ciudad se haría con, por ejemplo, barcos que requieran poca infraestructura adicional, el sistema ferroviario ya existente, o vehículos de carretera motorizados, pero con una eficiencia de dichos motores aumentada. Para la fase de llegada al usuario final, se podrían utilizar bicicletas de carga, eléctricas o no.

2.2. Esbozo de la idea a buscar

Como hemos visto ya, la solución debe desafiar los problemas que se plantean haciendo un uso eficiente de las infraestructuras existentes y aumentando la resiliencia del sistema y de la red de infraestructuras sobre la que se basa el mismo, pero a su vez no realizando grandes modificaciones de dichas infraestructuras. Habrá también que proponer un nuevo esquema de reparto y, como consecuencia de todo esto, deberíamos obtener una solución ambiental y

¹⁷ Templanza, parquedad en la comida y la bebida. Fuente: <https://dle.rae.es/frugalidad?m=form>

¹⁸ Definición del Diccionario de la RAE, única acepción: <https://dle.rae.es/eficacia?m=form>

¹⁹ Definición del Diccionario de la RAE, segunda acepción de la palabra: <https://dle.rae.es/eficiencia?m=form>

socialmente sostenible, además de requerir de pocos recursos energéticos (sobre todo en lo que a combustibles fósiles se refiere).

Con todo esto en mente, se propone que el sistema de logística en Santander se apoye sobre los siguientes pilares:

- Un acercamiento en barco de las mercancías a algunas zonas del casco urbano, aprovechando la bahía y algunas instalaciones ya presentes en la ciudad para su desembarco.

El punto de origen de los barcos podría ser el polígono de Raos, donde se establecería un centro de consolidación de las mercancías que lleguen para poder transportarlas de forma más compacta al centro de la ciudad. Los puntos de llegada podrían estar en la dársena de Maliaño (Barrio Pesquero), en la zona más cercana al Centro Botín del Puerto, en el Muelle de Puertochico o en Gamazo.

De esta forma se estaría descongestionando el acceso por la S-10 en su zona más próxima a Santander, además de los ejes urbanos a los que da acceso. El trayecto de las embarcaciones sería bastante recto y habría bastante poca necesidad de nueva infraestructura (a priori, únicamente grúas, pantalanes y almacenes; no haría falta ninguna carretera nueva).

- Idealmente, un sistema de almacenes en los diversos barrios de la ciudad (algunos de ellos podrían ser coincidentes con las zonas de llegada de las embarcaciones), que sirvan o de punto de recogida de envíos o de microcentros de consolidación a los que las mercancías llegarían para ser consolidadas, y desde donde se realizarían envíos de “última milla”.

Este punto se deja momentáneamente aparcado, como veremos más adelante, para priorizar una primera implantación del sistema de bicicletas de carga en una selección de barrios cercanos a los posibles embarcaderos y basado en un único centro de consolidación. La ampliación de este sistema, con un sistema generalizado de almacenes por barrios, quedaría para una posible segunda fase de este proyecto.

- Un sistema de reparto de esta última milla, basado en bicicletas de carga, ya sean estas eléctricas o no. Según la forma de implantar la idea, podría dejarse a juicio de las empresas de reparto, o podría indicarse el uso de bicicletas eléctricas en barrios con fuertes pendientes, pero esto queda fuera del ámbito del presente estudio, centrándonos en las zonas más cercanas a la bahía y con más demanda, que se concretan más adelante. Dicha idea se buscaría en una hipotética segunda fase de esta propuesta.
- Un importante cambio de modelo de calles en la ciudad de Santander que permita acoger este nuevo sistema de reparto, a la vez que incentiva el cambio en los hábitos de movilidad en la ciudad. Esto consistiría en la implantación de numerosos carriles bici, o zonas de preferencia para las bicicletas, incluidas calles hoy consideradas principales. La inversión necesaria para esto sería mínima y vendría marcada por el deseable fuerte nivel de seguridad que se debería dar a los ciclistas, poniendo para ello bolardos que separen bien los carriles bici de las calzadas y, para los casos donde haya que compartir calzada, sistemas efectivos de reducción de velocidad para los automóviles como badenes, curvas y trucos ópticos que simulan un estrechamiento de carriles.

A modo de explicación visual, se muestra en la Ilustración 16 una representación de cómo hoy en día el acercamiento de las mercancías a Santander se realiza esencialmente por carretera y mediante vehículos pesados. En la Ilustración 17 se muestra en qué consiste la idea que se acaba

de esbozar: derivar parte del tráfico que entra por la S-10 a un embarcadero (se muestra, en este caso, el de Raos) para que, desde ahí, el trayecto al centro se haga en barco. Una vez la mercancía es depositada en el centro, su reparto se haría en bicicletas de carga.

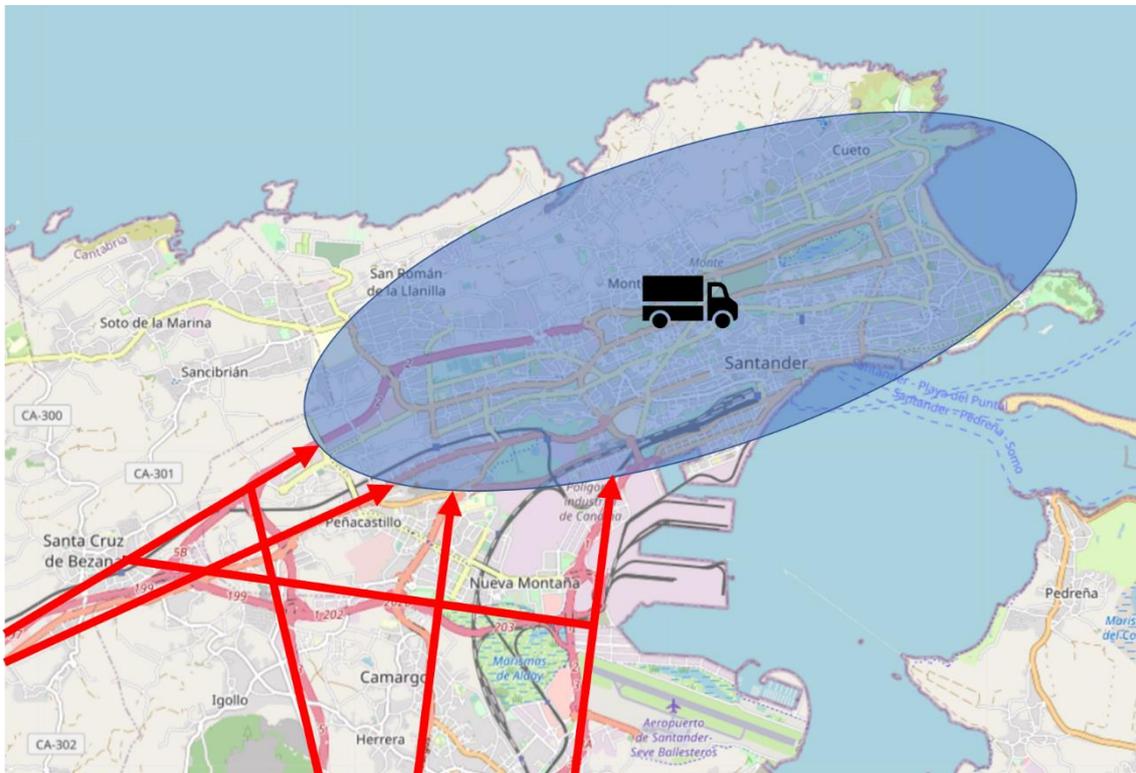


Ilustración 16: Esquema representativo del sistema actual de reparto de mercancías en Santander. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.

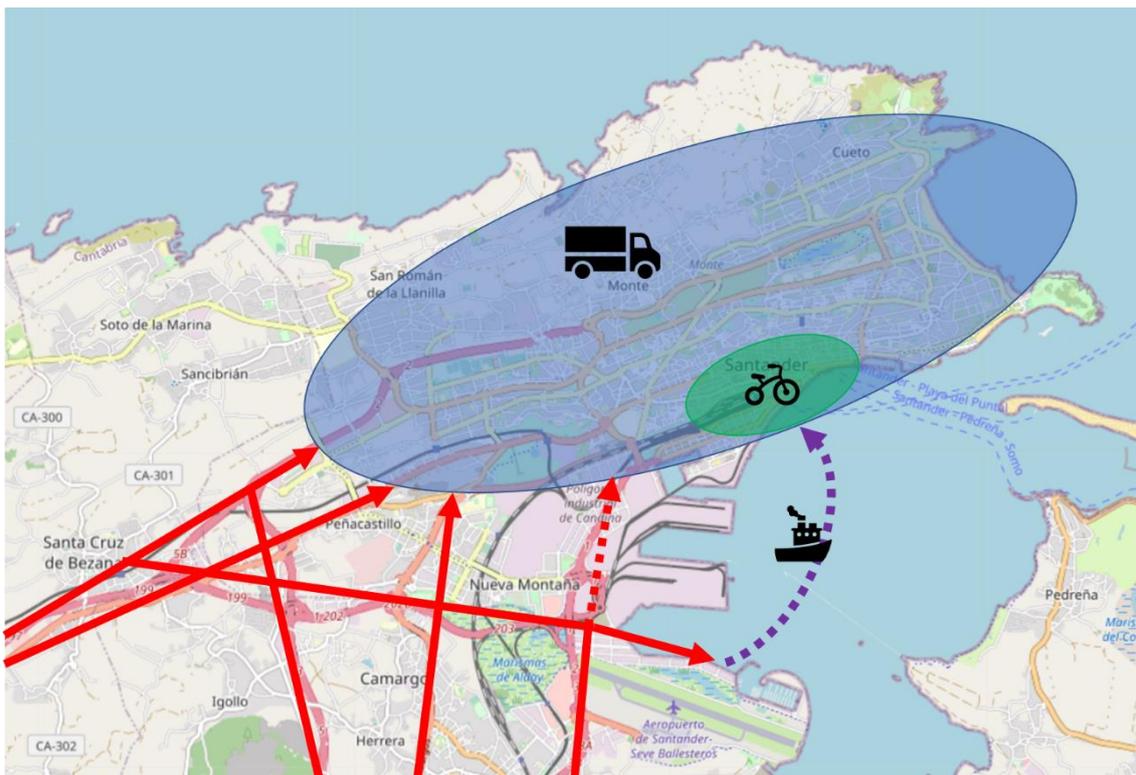


Ilustración 17: Esquema representativo de la propuesta para el reparto de mercancías en Santander. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.

3. Casos de estudio y estado del arte

Estos cuatro pilares propuestos no resultan ilusos ni tan siquiera novedosos, si bien es real que los casos existentes lo son de la implantación de sistemas basados en uno o dos de dichos pilares. Por lo tanto, su combinación haría de Santander una ciudad pionera, no ya a nivel estatal sino europeo y mundial, sin resultar esto un sistema imprevisible por lo poco testado de sus soluciones.

3.1. Transporte de mercancías por barco

Para el aprovechamiento de la Bahía de Santander, realizando la llegada a la ciudad de mercancías en barco, existen varios casos de éxito. Todos ellos se encuentran en el extranjero, no habiéndose encontrado casos en España porque, en las ciudades españolas, el uso de las vías acuáticas para transporte de mercancías a escala metropolitana no suele ser lo habitual.

Sin embargo, De las 20 principales áreas metropolitanas españolas, solamente en 4 no hay acceso por vía acuática (ya sea porque se trate de áreas metropolitanas costeras o porque su río sea navegable para barcos de un calado no demasiado grande): Madrid, Murcia, Granada y Valladolid.

Sería en realidad lógico que hubiera un uso expandido de los recursos de transporte que ofrece una masa de agua interna a un área metropolitana. De hecho, las rutas acuáticas internas a las áreas metropolitanas son, en muchas ciudades, las únicas infraestructuras con capacidad libre, según Janjevic y Ndiaye (2014)²⁰. Lo anteriormente citado sobre la ubicación de las principales áreas metropolitanas muestra que, actualmente, en las ciudades españolas se está infrutilizando la capacidad de sus aguas navegables.

Tal es el beneficio de disponer en plena aglomeración urbana una infraestructura con dicha capacidad libre que, en la mayor de Europa, en París, hay varios ejemplos de uso del río Sena como vía de transporte de mercancías.

Uno de los más reseñables es el de la cadena de supermercados Franprix que, para el reparto de las 800 toneladas diarias de productos secos que vende en sus cerca de 300 establecimientos en la región, utiliza un sistema combinado de barco y camiones.

Dicho sistema consiste en fletar una barcaza con 45 contenedores para hacer un recorrido de 20 kilómetros desde el puerto de Bonneuil-sur-Marne, al este de la aglomeración urbana, hasta el puerto de La Bourdonnais, en pleno centro de París, donde la mercancía va consolidada. Desde este puerto urbano, mediante 14 camiones, hace el reparto a todas sus tiendas por turnos, sin que todas ellas se vean repartidas a la vez. De esta forma, se requieren menos vehículos para el reparto, y se ahorra una buena cantidad de kilómetros y sus emisiones.

Según los propios cálculos de Franprix, se ahorra la circulación de entre 3600 y 5000 camiones al año, que recorrerían si no aproximadamente 300.000 km. Así, se ahorran unos 80.000 litros de carburante y, en consecuencia, se evita la emisión de 250 toneladas de CO₂ anuales, resultando en unas emisiones un tercio inferiores que si el reparto se hiciera íntegramente por camiones²¹.

²⁰ Janjevic, M., Ndiaye, A.B. Inland waterways transport for city logistics: A review of experiences and the role of local public authorities. 2014: WIT Transactions on The Built Environment, Vol 138. <https://doi.org/10.2495/UT140241>

²¹ https://scot.metropolegrandparis.fr/wp-content/uploads/2018/12/MGP_Labo_SCOT_fiche-HAROPA_logistiqueurbaine_181206.pdf

En el aspecto económico de este caso de estudio, la cadena reconoce que a una escala inferior el sistema no les resultaría rentable, como tampoco lo sería si no dispusieran de una ayuda directa del estado francés por valor de 12 euros por contenedor descargado²². Si bien esta ayuda se hace necesaria, hay que destacar que no se trata de una cuantía muy alta, puesto que, para los 44 contenedores diarios, apenas resulta en 528 € al día.



Ilustración 18: Descarga de contenedores de Franprix en el puerto de la Bourdonnais, en París. El puente que se ve sobre el Sena es el céntrico Puente del Alma. Fuente: www.leparisien.fr.

Por otra parte, sin movernos de París, hay una segunda iniciativa a reseñar, la de la utilización del río Sena para evacuar los desechos de obra durante la construcción del Grand Paris Express, la ampliación en 200 kilómetros adicionales de su sistema de metro²³. De los 45 millones de toneladas de tierras y residuos de construcción que se prevé que haya, se estarían llevando 8 por vía fluvial según el acuerdo establecido, suponiendo un ahorro total de 400.000 camiones.

No en vano, los 60 puertos fluviales de la región de París mueven anualmente más de 20 millones de toneladas de mercancía. Según el periódico “Le Journal du Dimanche”²⁴, se estima que un 60% del tráfico fluvial en la región se debe a la construcción.

De esta experiencia más general, en París se indica que los costes fijos suponen una parte muy importante del coste total del envío de mercancía por barco, al ser necesario a posteriori otro modo de transporte de dichas mercancías ya en la ciudad. De ahí surge la sugerencia de mutualizar dichos envíos para hacer lo mismo con sus costes.

²² <https://www.leparisien.fr/info-paris-ile-de-france-oise/transports/chez-franprix-a-paris-les-produits-arrivent-par-la-seine-05-10-2017-7310964.php>

²³ <https://www.vnf.fr/vnf/app/uploads/2019/09/Communiqu%C3%A9-Le-transport-fluvial-au-service-du-Grand-Paris-Express.pdf>

²⁴ <https://www.lejdd.fr/Societe/La-Seine-une-voie-de-trafic-de-marchandises-encore-trop-vide-726430-3039623>

El ejemplo de París nos muestra, además, que el uso de una masa de agua como lugar para transportar mercancías de varios tipos no está reñido con el uso como ocio de esta y de sus riberas. De hecho, ni los turistas ni la mayoría de los parisinos se dan cuenta del hecho de que el puerto de La Bourdonnais se encuentra justo a los pies de la Torre Eiffel; desde que se cerraron al tráfico, las riberas del Sena son el circuito favorito de los *runners* parisinos; y los *bateaux-mouches* circulan por el Sena sin que el compartir vía con barcas de mercancías hagan el paseo en barco menos romántico para sus pasajeros.

A una escala bastante menor encontramos la experiencia de ciudades holandesas como Utrecht, de la que Janjevic y Ndiaye (2014)²⁵ nos cuentan que el “Beer Boat Utrecht” suministra bebidas y comida a 70 locales de hostelería desde 1996. El barco, inicialmente de gasóleo, fue reemplazado en 2010 por uno eléctrico, con unas 8 horas de autonomía y capacidad de transporte de 18 toneladas, entre 40 y 48 contenedores. En la tabla a continuación se muestra la reducción en emisiones que se han constatado para los sistemas con cada uno de los dos barcos, en comparación con el sistema por carretera anterior:

Tipo de emisión	Reducción con barco a gasóleo	Reducción con barco eléctrico
PM	74%	98%
CO2	27%	94%
NOx	85%	100%

Tabla 7: Reducción en emisiones debida a la implantación de cada una de las generaciones del “Beer Boat Utrecht”, en comparación con el sistema por carretera anterior a los mismos. Fuente: Janjevic y Ndiaye (2014).

Debido a su éxito, el ayuntamiento de la ciudad decidió ejecutar la compra de un barco de mayores dimensiones que sirva para la recogida y evacuación de basuras en la ciudad.

En el propio artículo de Janjevic y Ndiaye se presentan varios casos más de uso de vías acuáticas para la logística urbana, que no entraremos a explicar aquí por no repetir lo ya estudiado por otros. De cualquier manera, se recomienda leer dicho artículo para conocer más casos de éxito que hagan ver la viabilidad de implantar dicha idea en Santander.

3.2. Sistema de almacenes

Respecto a este sistema, hay un artículo de Elbert y Friedrich (2020)²⁶ en el que realizan una simulación para la ciudad alemana de Frankfurt, en la que suponen la implantación de centros de consolidación urbanos.

Dichos centros se ubicarían en la proximidad de un área urbana, y permitirían agrupar mercancías urbanas de tal forma que los vehículos que las van a llevar puedan transportarlas con mayores factores de carga.

Además de estos centros de consolidación, en el artículo se proponen otros dos tipos de centros: micro-almacenes, que serían puntos de transbordo pertenecientes a un único operador, y micro-centros de consolidación, que serían puntos de transbordo utilizados de forma cooperativa por varios operadores.

²⁵ Janjevic, M., Ndiaye, A.B. Inland waterways transport for city logistics: A review of experiences and the role of local public authorities. 2014: WIT Transactions on The Built Environment, Vol 138. <https://doi.org/10.2495/UT140241>

²⁶ Elbert, R., Friedrich, C. Urban consolidation and cargo bikes: a urban study. Transportation Research Procedia 48 (2020), pp 439-451. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.051>

En dicha investigación, se simularon 4 escenarios sobre la red existente en Frankfurt, centrados en el centro de la ciudad. Las diferencias entre los escenarios eran en función del modelo de funcionamiento asumido para las compañías logísticas.

En los resultados que obtuvieron a nivel económico, hay que destacar la importancia de las ubicaciones de los depósitos, así como la importancia de la colaboración entre diferentes empresas a la hora de operar, para poder así mutualizar los envíos y compartir costes. También se destaca la penalización que sufre un sistema de envío que utilice centros de consolidación urbanos en casos de muy alta densidad de demanda, o en sitios con una cantidad de paradas demasiado grande.

A nivel de tráfico, se constató una importante reducción de vehículos-kilómetro en medios motorizados, con su consiguiente reducción de emisiones nocivas para el medio ambiente y la salud humana. Destaca el hecho de que las bicicletas sean capaces, según sus resultados, de prácticamente sustituir el uso de furgones y furgonetas en ciudad, solamente necesitando la parte en la que los camiones de mayor tamaño acercan las mercancías al centro de consolidación, desde donde el reparto se hace en bicicleta sin por ello resultar un modelo de negocio económicamente menos interesante.

En el monográfico sobre la movilidad y la logística urbana de 2020 del OTLE se detalla que los “almacenes urbanos” (aunque, por las atribuciones que les dan, se habla de lo que en este trabajo estamos llamando centros de consolidación urbanos) tienen un gran potencial para aumentar la eficacia de los sistemas de reparto de mercancía en ciudades. En dicho documento, se destacan tanto la experiencia japonesa con almacenes en plantas de escasa superficie y con alto crecimiento vertical, como la implantación por parte de Amazon de almacenes en zonas céntricas tanto de Madrid como de Barcelona²⁷.

Además de estos casos, muchos estudios combinan la utilización de centros de consolidación y bicicletas de carga en sus modelizaciones, dado que resultan complementarios y se benefician mutuamente, como veremos a continuación.

3.3. Reparto mediante bicicletas de carga

Gruber et al. (2014) estiman que un 42% de los servicios de envío de paquetería podrían realizarse mediante bicicleta para reducir externalidades²⁸. En su análisis sobre el uso de bicicletas de carga en las ciudades, dicen que las subidas en su uso han sido, por lo general, debidas a restricciones (calles estrechas, altas densidades de población y actividades, o restricciones directas de acceso a vehículos motorizados), más que por voluntad propia de las compañías de reparto. Podemos en consecuencia deducir que la propuesta de este trabajo debería ir acompañada de una serie de políticas urbanas para que sea exitosa.

²⁷ Movilidad Urbana y Metropolitana: Un gran reto de las ciudades del siglo XXI. Elaborado por el Observatorio del Transporte y la Logística en España. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Enero de 2020. Accesible en: https://observatoriotransporte.mitma.es/recursos_otle/monografico_otle_2019_movilidad_urbana_y_metropolitana_1.pdf

²⁸ Gruber, J., Kihm, A., Lenz, B. A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. *Research in Transportation Business & Management* 24 (2017) 26–36
<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.03.004>

Rudolf y Gruber (2017) establecen que hay motivaciones y limitaciones de tres categorías para el uso de bicicletas de carga: de ambiente, de compañía y de producto²⁹.

En el caso de Santander, habría tres grandes limitaciones de ambiente: la orografía de la ciudad, la tradición de uso de vehículo privado que ha generado un modelo de ciudad que favorece que ésta se perpetúe y, por último, el clima lluvioso.

Las limitaciones de compañía son, como su nombre indica, dependientes de las propias empresas. Cabe indicar que, si el ayuntamiento o el gobierno de Cantabria toman políticas decididas para evitarlas, se podrían eliminar.

En lo que al producto se refiere, nos encontramos con limitaciones, pero también una alguna motivación. Las limitaciones vienen dadas por el volumen, peso y fragilidad de los envíos a realizar, y la forma de hacerlos. Buenos ejemplos de envíos viables serían los de paquetería no frágil y productos ligeros y que se envíen en cantidades no muy grandes, como el textil a tiendas de comercio local (que son las que suelen tener un volumen de negocio más limitado).

Por lo tanto, quedarían descartados los productos frescos como mercancías transportables en bicicleta, debido a la complicación de llevar un baúl refrigerado y el peso que ello conlleva³⁰. En el caso particular de Santander esto resultaría aún más difícil por la complicación añadida de las pendientes.

Existió entre 2014 y 2017, a nivel europeo, una iniciativa llevada a cabo por varios agentes pertenecientes a la industria, instituciones de investigación, ciudades y organizaciones no gubernamentales, y que contó con el apoyo de la Unión Europea y de la Federación Europea de Ciclismo, que buscaba que se explotase bien el potencial de las bicicletas de carga en las ciudades como solución a sus problemas logísticos: City Changer Cargo Bike³¹.

Dicha iniciativa puso en común lugares en los que más se ha avanzado en estas prácticas, empresas interesadas en analizar su potencial, ciudades que estuvieran interesadas en cambiar de modelo de logística y agentes similares. También proporcionó guiado y recomendaciones sobre el uso de bicicletas de carga en ciudad, buscando así fomentar su uso.

La ciudad representante de esta iniciativa en España fue San Sebastián, que dispuso de una oficina del ayuntamiento dedicada a ello y en la que se halla, además, de una empresa referente a nivel estatal de reparto con bicicletas de carga, venta de estas y fomento de su uso: Txita³². Además de estas vías de negocio, Txita se dedica a otras actividades también relacionadas con el uso de bicicletas, como los cursillos de educación vial en colegios, animación de eventos mediante una bicicleta con altavoces, servicios de asesoría a ciudades para la elaboración de Planes de Movilidad Urbana Sostenible, etc.

Se realizó una entrevista con Dani Ruiz, responsable de la empresa, en la que se comentaron numerosos temas relacionados con la ciclogística y su experiencia como operadores del sector,

²⁹ Rudolf, C., Gruber, J. Cargo cycles in commercial transport: Potentials, constraints, and recommendations. 2017: Research in Transportation Business & Management 24 (2017) 26–36.
<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.06.003>

³⁰ A esta conclusión respecto a los productos frescos se llegó tras una prueba experimental de uso de bicicletas de carga en la ciudad polaca de Stargrad: Nürnberg, M.: Analysis of using cargo bikes in urban logistics on the example of Stargrad. Transportation Research Procedia 39 (2019) 360-369.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.038>

³¹ <http://cyclelogistics.eu/>

³² <https://www.txita.com/>

para poder elaborar este trabajo con criterio y conocimiento de causa, sin quedarnos exclusivamente en la revisión bibliográfica.

La empresa trabaja con algunos de los principales operadores logísticos a nivel estatal en tanto que repartidores de última milla para sus envíos. Estos operadores llegan todas las mañanas entre las 9 y las 10 de la mañana al local que Txita tiene cerca de la estación de RENFE de San Sebastián y descargan sus paquetes que van destinados a las zonas más céntricas de la ciudad, a las cuales Txita limita sus operaciones. Realizan los repartos mediante triciclos de carga con asistencia eléctrica de 250 W (el máximo que permite la DGT) y 200 kg de capacidad.

Desde el almacén, que opera a su vez como un centro de consolidación en el que juntan los envíos por manzanas a las que enviarlos, salen los triciclos cargados hacia las diferentes calles que atienden. Dados los niveles de carga y concentración de envíos con los que funcionan, realizan numerosas rutas cortas, en las que entregan los paquetes en unos minutos y vuelven al almacén a por más. En un día normal, realizan todos los envíos por la mañana, terminando en torno a las 15:00 horas.

Llevar en activo desde 2006, habiendo crecido de forma sostenible y sostenida desde entonces. Se profundizará más en esta experiencia en la subsección “Recomendaciones para una solución exitosa”, además de una breve mención que habrá unas líneas más abajo sobre la viabilidad económica de la empresa.

Yendo a la factibilidad económica del reparto por bicicleta en ciudad, disponemos del estudio hecho por Sheth, Butrina, Goodchild y McCormack (2019), en el que destacan que en distancias cortas y con muchas paradas un reparto por bicicleta de carga asistida eléctricamente es mucho más interesante a nivel económico que un reparto con furgoneta³³. Los autores también destacan el beneficio que supone que las bicicletas de carga no requieran de los espacios de aparcamiento que necesitan los furgones que se emplean habitualmente en las ciudades.

De hecho, según los resultados de ese mismo estudio, las bicicletas de carga eléctricas destacan por su economía en 4 situaciones: rutas cortas a nivel general, rutas con poca distancia entre paradas consecutivas, rutas con pocos paquetes que dejar por parada, y rutas con muchas paradas a realizar. Si se combinan situaciones, las diferencias a favor de la bicicleta de carga eléctrica se incrementan.

En la entrevista realizada con Txita, su cofundador y responsable Dani Ruiz confirmó esto haciendo mucho énfasis en la importancia de la densidad de las entregas, tanto en espacio como en tiempo, para poder realizar rutas de menor duración y mayor cantidad de expediciones.

No obstante, también reconoció que los márgenes de ganancia, aun resultando los envíos más caros en las ciudades de la Cornisa Cantábrica (ligeramente por debajo de los 2 € por expedición) que en zonas más al sur de España o en grandes ciudades, donde se paga en torno a 1 € por expedición, son ínfimos. Tampoco se pueden subir las tarifas, pues el sistema se lo impide al dejar de resultar económicamente competitivos con otras empresas: a la hora de decidir el modo de envío, las personas con capacidad de decidir (páginas web de ventas, operadores logísticos, etc.) limitan la toma de decisiones exclusivamente al criterio económico a corto plazo, sin tener en cuenta aspectos de sostenibilidad salvo en muy contados casos.

³³ Sheth, M. et al. Measuring delivery route cost trade-offs between electric-assist cargo bicycles and delivery trucks in dense urban areas. *European Transport Research Review*. 2019, 11:11. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0349-5>

Estos márgenes pueden incluso llevar a incurrir en pérdidas con bastante facilidad de no ser por las actividades complementarias que realizan, por el uso de las cajas de las bicicletas a modo de soporte publicitario, por las condiciones de inaccesibilidad a las furgonetas de algunas zonas de San Sebastián (notablemente la Parte Vieja), y por el hecho de disponer de un céntrico local cedido por el ayuntamiento que ellos utilizan a modo de centro de consolidación.

Si bien desde Txita también reconocen que su modelo de pago ético a los trabajadores les hace disponer de menores márgenes (no utilizan la fórmula del autónomo ni “falso autónomo”, y pagan a sus repartidores por horas trabajadas y no por envíos despachados), consideran que lo ideal es poder operar como una empresa en la que no se genera este tipo de precariedad de sus trabajadores, aun a costa de tener un balance económico menos positivo a final de año.

No es por tanto baladí que haya experiencias satisfactorias del uso de bicicletas de carga para la logística urbana en numerosas ciudades, o que encontremos casos de éxito de cooperativas de reparto por bicicleta en múltiples ciudades españolas, como las que se muestran en la tabla a continuación.

Cooperativa	Ciudad	Sitio web
La Sàrria	Sabadell	www.lasarria.cat
Mensakes	Barcelona	www.mensakes.com
Ziclo-P	Pamplona	www.ziclo-p.com
Zampate	Zaragoza	www.zampatezaragoza.com
Eraman	Vitoria-Gasteiz	www.eraman.coop
Botxoriders	Bilbao	www.botxoriders.com
Bikexpress	Getafe	-
La Pájara	Madrid	www.lapajaraenbici.com
Velo	Sevilla	-
Huelva Vence	Huelva	www.hvreparto.com

Tabla 8: Listado de cooperativas de reparto en bicicleta en España. Fuente: elaboración propia a partir de datos de www.coopcycle.org

Por último, hay que destacar que en la normativa recientemente aprobada y publicada en España para las Zonas de Bajas Emisiones (RD 1052/2022, del 27 de diciembre de 2022), se menciona la ciclogística como parte de las mismas, ayudando así a que los repartos sean realizados con vehículos cero emisiones³⁴.

3.4. Cambio de calles para favorecer la movilidad activa y el transporte público colectivo

El último aspecto principal de la solución también cuenta con numerosos casos de éxito. Vamos a destacar entre ellos el de una gran ciudad, además de varios de ciudades de tamaño medio, más parecidas a Santander.

Comenzamos por el mediático caso de París y su pacificación de numerosas calles que, si bien viene de largo y ha sido un común denominador de los gobiernos de diversos colores que han regentado la alcaldía de París desde los años 90 en los que estaba ostentada por Jacques Chirac, para el gran público se ha dado a conocer bajo el mandato de la actual alcaldesa Anne Hidalgo y su adjunto para el transporte y el espacio público, David Belliard.

³⁴ Real Decreto 1052/2022, de 27 de diciembre, por el que se regulan las zonas de bajas emisiones. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. Accesible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-22689

Si bien este proceso no ha venido exento de polémicas por los drásticos cambios que ha habido en la ciudad y a los que algunos ciudadanos todavía no se han habituado, ha ayudado a que aumente el uso del transporte público y la movilidad activa, notablemente la bicicleta.

Como imagen de la transformación de la movilidad en dicha ciudad, hay que destacar la archiconocida Rue de Rivoli, que conecta el hipercentro sito en Châtelet con el inicio de los Campos Elíseos en la Plaza de la Concordia, recorriendo para ello el museo del Louvre por el lateral.

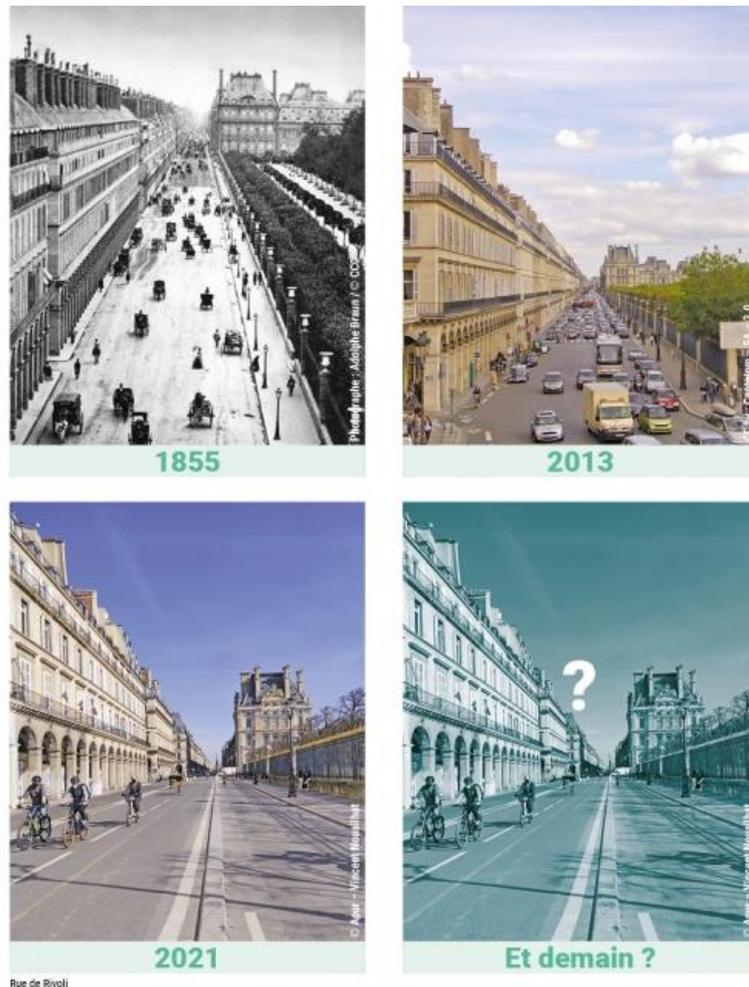


Ilustración 19: Evolución de la Rue de Rivoli en París. Fuente: APUR, Atelier Parisien d'Urbanisme (Taller Parisino de Urbanismo).

Como efecto de la fuerte inversión parisina en transporte público (que favorece la movilidad) y en las reconversiones de calles (que así pasan a trabar el libre uso del automóvil y favorecen la movilidad activa), además de la propia saturación de vehículos que ha experimentado la ciudad, se ha dado como resultado que, entre 1990 y 2017, la tasa de posesión de vehículos bajó en un 25%³⁵.

Este descenso se ha visto acrecentado en los últimos años: entre 1990 y 2007 el descenso interanual medio fue de un 0,6%, mientras que entre 2007 y 2017 dicho descenso ha sido de un

³⁵ <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/evolution-mobilites-grand-paris-tendances-historiques-evolutions-cours-emergentes>

1,85% interanual. De seguir a este ritmo, en 2025 se franquearía la barrera de dos tercios de los hogares parisinos que no tendrían automóvil.

Hay que resaltar que un cambio en la tasa de motorización es algo muy notable pues denota que el cambio de hábitos ha hecho que el vehículo privado deje de ser competitivo frente a los otros modos de movilidad hasta el punto de que se vende el automóvil o no se repone cuando éste ha llegado al final de su vida útil.

También hay que resaltar que la tasa de motorización no diferencia entre vehículos de combustión interna u otros como eléctricos o de hidrógeno, lo cual hace ver que los vehículos no son necesariamente sustituidos por otros (a priori) menos contaminantes por causa de las restricciones de entrada a la ciudad de los vehículos más emisores de partículas nocivas.

El principal beneficiario de esta bajada en la tasa de motorización es la bicicleta, cuyo uso en París ha crecido en un 71% entre 2019 y 2022³⁶. De hecho, en el Boulevard de Sébastopol parisino (el tramo habitualmente más frecuentado por bicis en París, puesto que forma el principal eje ciclable Norte-Sur; para el eje Este-Oeste la Rue de Rivoli tiene competidores en las riberas del Sena), la cantidad de bicicletas contadas se situó en 2021 recurrentemente por encima de las 10.000 diarias, con un récord de 17.284 bicicletas/día el 9 de junio de 2022³⁷.

A nivel español, y hablando de ciudades de un tamaño más parecido al de Santander, hay que destacar el reciente pero fuerte impulso que Logroño ha dado a sus planes de peatonalización como consecuencia de la pandemia de la Covid-19, mediante el programa Logroño Calles Abiertas³⁸, que ha sido reconocido en 2021 con el Premio Movilidad Urbana del MITMA.

Dicho programa se articula en torno a seis propuestas estratégicas³⁹:

- Red peatonal saludable.
- Red ciclista saludable.
- Áreas pacificadas mediante el calmado de tráfico.
- Mejora de entornos puntuales, notablemente en torno a los centros escolares.
- Apoyo al transporte público mejorando su infraestructura.
- Adaptación de regulaciones, incluidas algunas medidas como permitir a los ciclistas circular a contrasentido y revisar los ciclos semafóricos.

Hay varios ejemplos españoles más que se destacan en la “Guía para Planificar Ciudades Saludables” de la Federación Española de Municipios y Provincias⁴⁰, además de Logroño: Pontevedra, Málaga, Barcelona y Soria. La información sobre estas cuatro ciudades que se recoge a continuación proviene de dicho documento.

³⁶ Boletín nº3 de “Fréquentations Vélo en France” de 2022 de la coordinadora de la red ciclable francesa “Coordinateur du Réseau National Cyclable, Vélo et Territoires”. Accesible en: https://www.velo-territoires.org/wp-content/uploads/2022/09/2022_09_07_Bulletin-Frqquentation-vlo-en-France_3.pdf

³⁷ Datos de la red de conteos de Vélo et Territoires, <https://data.eco-counter.com/ParcPublic/?id=891#>

³⁸ <https://logronocallesabiertas.es/>

³⁹ <https://logronocallesabiertas.es/propuestas-estrategicas/>

⁴⁰ Fariña J, Higuera E, Román E, Pozo E (2022). Guía para planificar ciudades saludables. Ministerio de Sanidad, FEMP. Madrid. Accesible en https://fundadeps.org/wp-content/uploads/2022/06/Guia_Planificar_Ciudades_Saludables.pdf

Pontevedra⁴¹, cuyo caso se ha hecho famoso por el mapa de “metrominuto”⁴² que salió en los medios de comunicación, lleva casi 30 años con medidas para favorecer la movilidad activa en su casco urbano. Como consecuencia de ello, entre 1997 y 2015 los viajes en automóvil bajaron de 52.000 diarios a apenas 17.000, un descenso de aproximadamente dos tercios.

Además, como consecuencia de la pacificación de sus calles, no hay necesidad de establecer carriles-bici separados de los vehículos de mayor tamaño, consiguiendo así una integración real de la bicicleta como medio de transporte.

En Málaga⁴³, además de la peatonalización del casco histórico (que ha conllevado una reducción de los trayectos en coche por sus calles de un 84% tan solo entre 2004 y 2009, junto con una reducción de sus emisiones de CO2 asociadas de un 89,3%), han establecido un sistema de reparto de última milla mediante vehículos eléctricos para dicha zona, implantando para ello un centro de distribución (llamado Centro Urbano de Distribución Ecológica⁴⁴, que estuvo en funcionamiento hasta 2011) y una red de puntos de carga en aparcamientos municipales.

En Barcelona⁴⁵, las supermanzanas han ayudado, allí donde se han implantado, a mejorar la salud de sus habitantes, a la vez que han mejorado la afluencia a los comercios situados en ellas. Se espera que se culmine la ejecución de todas las previstas en 2023.

En Soria⁴⁶, mediante la estrategia “Soria 2030”, están buscando instaurar políticas de la llamada “ciudad de los 15 minutos”, además de peatonalizar o pacificar importantes zonas de su casco urbano buscando así reducir los viajes en vehículos a motor en 3.000 al día.

3.5. Recomendaciones para una solución exitosa

Además de las propias buenas prácticas que se pueden deducir de los casos de estudio, se ha obtenido como resultado de la búsqueda bibliográfica una serie de recomendaciones que poder aplicar, que se comentan a continuación.

En un estudio de red geométrica para optimizar un sistema de reparto por bicicleta en Budapest, sus autores (Sárdi y Bóna, 2021) inciden en que es importante identificar las zonas urbanas con alta concentración de puntos de reparto y concentrarse en primer lugar en ellas para implantar un buen sistema de reparto mediante bicicletas de carga⁴⁷. Los mismos autores indican que, en casos de saturación de la red viaria, las bicicletas de carga muestran un mejor comportamiento y una mayor fiabilidad.

Para ayudar a la implantación de sistemas de reparto mediante bicicletas de carga, tanto Rudolf y Gruber (2017) como City Changer Cargo Bike proponen recomendaciones a nivel local y urbano.

⁴¹ Para más información, dirigirse a la web del proyecto: <https://ok.pontevedra.gal/es/>

⁴² <https://metrominuto.pontevedra.gal/es/>

⁴³ Más información en el área de movilidad de Málaga: <https://movilidad.malaga.eu/>

⁴⁴ <https://malagasmart.malaga.eu/es/movilidad-inteligente/movilidad-electrica/centro-urbano-de-distribucion-ecologica/#.Y2fQx-TMJY>

⁴⁵ <https://ajuntament.barcelona.cat/superilles/es/>

⁴⁶ Más información en: <https://www.soria2030.es/es/eje/movilidad-transporte>

⁴⁷ Sárdi, D.L.; Bóna, K. A Geometrical Structure-Based New Approach for City Logistics System Planning with Cargo Bikes and Its Application for the Shopping Malls of Budapest. Appl. Sci. 2021, 11, 3300. <https://doi.org/10.3390/app11083300>

Los primeros dividen sus recomendaciones en una serie de campos diferenciados. Se resumen a continuación sus puntos clave⁴⁸:

En el marco regulatorio, se destacan la necesidad de implantar normas como las ZBEs, el calmado del tráfico a nivel general en las ciudades, peatonalizaciones y prohibiciones de accesos a camiones.

En lo que a la planificación estratégica respecta, se habla de tener en cuenta las bicicletas de carga dentro de los Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS), así como otros modos de transporte que posiblemente todavía no se estén considerando en estos documentos. Se indica además que deben establecerse objetivos específicos para cada uno de los modos de transporte contemplados en dichos PMUS.

En lo que respecta específicamente a las bicicletas de carga, los autores dicen explícitamente que “el desarrollo de los conceptos de logística urbana, especialmente en áreas urbanas de alta densidad, debería tener en cuenta las bicicletas de carga para los transportes de última milla”. Inciden así en lo altamente recomendable que esto es.

La infraestructura es quizá el punto sobre el que dan más recomendaciones. Comienzan destacando que la mayoría de los manuales de planificación urbana o de diseño urbano no tienen todavía en cuenta las dimensiones de las bicicletas de carga, que pueden tener anchos de en torno a 1 metro, bastante más que una bicicleta de pasajeros. Aportan una muy interesante lista de demandas específicas de las bicicletas de carga en infraestructura, que se reproduce a continuación:

- El transporte de bienes suele tener una alta dependencia del tiempo de viaje a la hora de determinar el modo por el que se realizará. Por lo tanto, la infraestructura ciclista debe buscar proporcionar conexiones rápidas.
- Hay un gran espectro de velocidades en un carril-bici, debido a los varios tipos de bicicletas que pueden estar circulando por él simultáneamente: bicicletas de carga, ciclistas paseantes, trabajadores o estudiantes que van a sus respectivos lugares de trabajo o estudios en bicicleta, deportistas entrenándose... Debe para ello proporcionarse un ancho tal que se permitan los adelantamientos seguros.
- Las bicicletas de carga requieren de aparcamientos con una mayor holgura que las bicicletas individuales, al necesitar un mayor espacio.
- Las bicicletas de carga suelen requerir de mayores distancias de frenado y mayores radios de giro.
- Las bicicletas de carga presentan una mayor vulnerabilidad ante pendientes, escalones o baches, y vibraciones.

Todo esto se resume en que las bicicletas de carga necesitan una infraestructura adaptada a ellas y que se mantenga en buenas condiciones, para que así no se vean penalizadas ante los coches. De lo contrario, las rutas que no dispongan de una buena adaptación a las mismas no serán capaces de atraer comercio que pueda ser servido por este medio.

⁴⁸ Hasta nuevo aviso, toda la información contenida en los siguientes párrafos proviene de: Rudolf, C. y Gruber, J. Cargo cycles in commercial transport: Potentials, constraints, and recommendations. 2017: Research in Transportation Business & Management 24 (2017) 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.06.003>

Dentro del mismo apartado de infraestructura, los autores recomiendan también que se tengan en cuenta estos requerimientos en los desarrollos de promociones inmobiliarias, teniendo en cuenta a asociaciones ciclistas, operadores ciclogísticos experimentados y planificadores urbanos en el caso de que no haya legislación al respecto.

Se indica además que no debe considerarse un rediseño completo de la infraestructura ciclista al no ser algo posible de hacer, y que algunas medidas efectivas podrían ser el permitir que bicicletas (tanto individuales como de carga) compartan vías con el tráfico motorizado, que se armonice este tráfico reduciendo las velocidades máximas permitidas a 30 km/h y realizando pequeños ajustes como rebajes de bordillos para permitir que las bicicletas de carga puedan subirse a las aceras para estacionar.

Hablan también sobre la necesidad de construir una red y de la transferencia de conocimiento, mediante la incitación a ello por parte de las corporaciones municipales con acciones como el ofrecimiento de espacios para micro-centros de consolidación compartidos, lo cual no es necesariamente fácil al poder negarse algunas empresas a compartir espacios y metodologías con sus competidores.

De cualquier forma, los autores hacen énfasis en que se organicen redes locales de gente relacionada con la ciclogística y se hagan labores de concienciación al público general y a los gestores de los comercios, pues suele resultar mucho más efectivo de lo que en un principio cabe esperar.

De manera bastante relacionada con esto último, aunque en un apartado diferente, los mismos autores hablan de la importancia de facilitar la realización de pruebas con bicicletas de carga, ante la falta de conocimientos al respecto y el alto precio de una bicicleta. De esta forma, se ayuda a superar el gran escalón inicial que suponen ambos factores para la implantación de un sistema de ciclogística.

Ejemplo de éxito en este caso es el de la ciudad alemana de Bremen, que en 2013 proporcionó a compañías locales 34 bicicletas eléctricas y 4 bicicletas de carga eléctricas a empresas locales para comprobar las posibilidades que ofrecían para sus necesidades diarias de transporte, experimento tras el cual muchos participantes compraron la bicicleta que les había sido prestada. También se mencionan iniciativas de éxito en Múnich y Berna.

El uso de las bicicletas de carga por parte de algunos de los servicios de los ayuntamientos es otra importante recomendación, a modo de predicación con el ejemplo. Se menciona por ejemplo el caso de Estrasburgo, que dispone de bicicletas para el servicio de limpieza de las calles, para envíos entre bibliotecas de la ciudad y en su departamento de seguridad en la carretera. Otras ciudades que han optado por iniciativas del estilo son Graz, Nimes, Ferrara y Hannover.

Schliwa, Armitage, Aziz, Evans y Rhoades (2015)⁴⁹, por su parte, hacen énfasis en tres puntos no destacados en el artículo de Rudolf y Grueber. El primero de ellos, que ya se ha mencionado indirectamente dados los temas conjuntos de los artículos analizados, es que los centros urbanos de consolidación son de vital importancia para permitir establecer un reparto de última

⁴⁹ Salvo que se indique lo contrario, y hasta nuevo aviso, esta información ha sido recabada de Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics—Making cargo cycles viable for urban freight transport. *Research in Transportation Business & Management*, 15, 50–57. <http://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.02.001>

milla que sea viable para las bicicletas de carga, al ayudar a que dicha fase esté compuesta de trayectos que favorezcan su uso.

De hecho⁵⁰, la implantación de los centros urbanos de consolidación ayuda a que se generen las cuatro situaciones de las que hablan Sheth et al. (2019)⁵¹: rutas cortas a nivel general, rutas con poca distancia entre paradas consecutivas, rutas con pocos paquetes que dejar por parada, y rutas con muchas paradas a realizar.

De vuelta con lo indicado por Schliwa et al., también tiene una gran importancia el profesionalizar el sector y que los envíos queden gestionados por empresas dedicadas a la ciclologística en lugar de ser realizados por los propios comerciantes.

Por último, destacan también que habría que imponer mayores precios a los aparcamientos e la calle para desincentivar el uso de automóviles y furgonetas, pues ello supone para ellos una ventaja de facto con la que las bicicletas no cuentan.

Finalizado el análisis del artículo de Sheth et al., pasamos al de City Changer Cargo Bike quienes, por su parte, nos proponen una serie de puntos para los ayuntamientos, que incluyen, entre otros⁵²:

- Una inversión en infraestructura ciclista bien hecha.
- La predicación con el ejemplo identificando los servicios urbanos que se pueden hacer en bicicletas de carga (paquetería entre oficinas municipales, limpieza de calles, jardinería) e implementándolos de esta forma.
- La introducción de medidas regulatorias que favorezcan el uso de bicicletas de carga frente a los vehículos motorizados.
- Una remodelación de la infraestructura de reparto, proporcionando infraestructura dedicada para el aparcamiento de bicicletas de carga, designando zonas de reparto y de almacenamiento, dando incentivos a empresas y comercios que opten por estos medios de reparto, y desarrollando planes de servicios de reparto para empresas y comercios locales.
- Asegurar y proporcionar espacio para micro-centros de consolidación, compartidos y en cooperación con empresas de ciclologística.
- Promoción de las bicicletas de carga entre la ciudadanía.

La entrevista realizada con Txita, ya mencionada, dejó también una larga lista de recomendaciones y sus motivaciones, además de desmentidos de lo que inicialmente se podría pensar que serían buenas recomendaciones, pero en la práctica no lo son. Pasamos a hablar sobre ello ahora⁵³.

En lo que respecta a algunos aspectos operativos del día a día y lo que éstos condicionan, comenzamos por hacer hincapié en las características de ubicación del centro de consolidación,

⁵⁰ Idea propia del autor de este trabajo.

⁵¹ Sheth, M. et al. Measuring delivery route cost trade-offs between electric-assist cargo bicycles and delivery trucks in dense urban areas. *European Transport Research Review*. 2019, 11:11. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0349-5>

⁵² La siguiente lista ha sido adaptada de: Stakeholder's Guide. Expanding the Reach of Cargo Bikes in Europe. Cyclelogistics – City Changer Cargo Bike, 2022. Accesible en <http://cyclelogistics.eu/publications/stakeholders-guide-expanding-the-reach-of-cargo-bikes-in-europe/>

⁵³ Hasta el cambio de sección, esta información ha sido toda ella recabada y procesada por el autor a partir de la entrevista con Dani Ruiz, cofundador y responsable de Txita.

que debería situarse en el centro salvo en excepciones como la de este trabajo (ya que, al ser transportadas todas juntas en barco, las mercancías llegarían igualmente consolidadas al centro de la ciudad aunque su consolidación se realice en las afueras), y debería ser accesible a camiones y furgones y, por lo tanto, no ubicarse en un parking subterráneo o lugares de escaso gálibo.

También hay que destacar la problemática de la coordinación con los agentes logísticos, dadas tanto la poca disponibilidad que éstos muestran para compartir sus bases de datos (sobre las que el repartidor debe indicar el despacho del envío y sus eventuales incidencias) como las actualizaciones que dichos operadores realizan a sus aplicaciones de gestión de las bases de datos, una media de dos al año por compañía.

Esto hace que si una empresa que, como Txita que trabaja con en torno a una decena de operadores logísticos, desarrollara una aplicación propia que fuera conectada a la de los operadores, tendría que realizar una veintena de actualizaciones anuales de su propia aplicación, requiriendo para ello de una persona dedicada al aspecto informático a tiempo completo. La solución que se adopta por parte de Txita, que no es aun así del todo deseable, consiste en utilizar directamente las aplicaciones móviles de todos y cada uno de los operadores con los que trabajan, marcando en la correspondiente la entrega realizada.

Si se realizara una iniciativa a nivel de ciudad impulsada por la administración en la que esta fuera garante de algunos aspectos operativos y económicos, podría valorarse la dedicación parcial de un equipo de personas a la actualización periódica de esta aplicación cuando fuera necesario.

De la experiencia de Txita también se puede sacar la idea de utilizar las cajas de las bicicletas de reparto a modo de soporte publicitario. Según estimaciones dadas por su responsable, supone una aportación adicional del orden de 300 € mensuales por bicicleta, cosa que ayuda a la financiación de la empresa.

Para mantener cortas las distancias de reparto y permanecer en zonas de bastante densidad de envíos, en Txita operan un radio máximo de en torno a 1,5 kilómetros, vigilando también los cambios de códigos postales. Los operadores logísticos utilizan la división de una ciudad en códigos postales para el reparto de sus paquetes, y desde Txita deben adaptarse a ello y hacer que los límites de sus zonas de reparto sean coincidentes con éstos.

Siguiendo con las rutas de reparto, resulta fundamental acortar el tiempo entre entrega y entrega para ganar en eficiencia, de ahí la necesidad de centrarse en zonas con alta densidad de envíos. Además, de esta forma la velocidad del modo de transporte pierde peso, haciendo por lo tanto que las velocidades de la bicicleta (en torno a los 14 km/h en lleno y a los 19 km/h en vacío) puedan competir bien frente a los vehículos motorizados.

También hay que destacar la fuerte penalización que suponen las cuestas a las bicicletas de carga actuales. Mientras la potencia de sus motores de asistencia eléctrica siga limitada a 250 W, éstas no serán capaces de hacer frente a algunas de las cuestas que conforman el callejero de Santander. Este condicionante, junto con los de densidad de entregas y de distancia máxima, hace que podamos definir una zona de Santander objetivo en la que centrarnos.

Desde Txita también han destacado la importancia de que un servicio de este estilo mantenga una imagen pulcra y exquisita en cuanto a seguridad vial y respeto de las normas de circulación

representa, marcando así una gran diferencia con los vehículos motorizados de cara tanto a la ciudadanía como al ayuntamiento, para así seguir contando con el apoyo de ambos.

Como políticas y ordenanzas municipales más importantes para asegurar no solo el éxito de una iniciativa de este estilo, sino también su coherencia con una ciudad en la que se favorezca la movilidad activa tanto para pasajeros como para mercancías, se mencionaron varias opciones:

- Puesta en marcha de una tasa por envíos a domicilio mediante vehículos motorizados, a modo de las tasas turísticas que ya hay en numerosas ciudades y que se cobran a través de los hoteles. Aunque como idea, a nivel inicial, Dani la veía bien, destacó la dificultad de su aplicación efectiva dada la gran cantidad de operadores y gente que puede realizar envíos que hay, y lo difícil que sería controlarlos a todos. De cualquier forma, resulta interesante analizar el hacer pagar a las empresas que utilizan vehículos motorizados (ya sean éstos de combustión interna o eléctricos) por las externalidades que generan a la hora de hacer sus envíos, haciendo así que el conjunto de la sociedad deje de tener que hacerse responsable de las mismas y revirtiendo la situación de subvención camuflada que se da al sistema actual.
- Dar ventajas directas a las empresas limpias podría ser otra buena opción, pero podría generar una dependencia de las ayudas públicas de la que sería difícil deshacerse, siendo por lo tanto recomendable que esta medida fuera gradual y transitoria.
 - Una buena alternativa sería la de operar “a libros abiertos” y que la administración se comprometiera a cubrir las pérdidas en los primeros meses o años de funcionamiento del sistema, hasta que éste alcanzara el equilibrio financiero de manera sostenida.
- Instalación de un sistema de control automático (mediante cámaras y bolardos) que controle el acceso a las zonas más céntricas y peatonales de la ciudad, y que se sea tajante con la aplicación de las ordenanzas relacionadas con el mismo. Por ejemplo, en el caso de San Sebastián, se prohíbe en algunas zonas céntricas el reparto mediante vehículos de motor a partir de las 11 de la mañana, haciendo que el uso de bicicletas de carga resulte la única opción viable.
- Se hace énfasis en la parte de automatizar los controles de acceso para que el control sea directo y sin ambages. Este sistema bien podría ser el mismo que se utilice para el control de las zonas de bajas emisiones que se van a implantar, y de hecho se espera que en muchas ciudades estas zonas se apliquen también a los vehículos motorizados de carga en futuras ampliaciones de las restricciones, probablemente una vez hayan pasado las elecciones municipales de la primavera de 2023.
 - Ligado a esto, se ha indicado que, al menos en el caso de Txita, se ha notado una mucho mayor influencia de la peatonalización de las calles y la pacificación de su tráfico que de la implantación de carriles bici, que suelen ir más destinados a las bicicletas de desplazamiento individual, las bicicletas “al uso”.
- Cesión de un local por parte de la administración que pueda servir a modo de centro de almacenaje o de consolidación de la mercancía.
 - Además, la empresa de reparto de bicicletas bien podría explorar las sinergias entre el negocio principal de reparto de mercancías y el uso de su local para otras actividades de índole más cultural y que podrían complementar los ingresos, como podrían ser un aula de charlas y cursos fomentando la movilidad ciclista, un taller de bicicletas, o un bar de temática ciclista.

- Permitir expresamente en las ordenanzas municipales el uso de remolques en bicicletas, ya que la DGT estipula que éstos están prohibidos salvo que las ordenanzas de cada lugar digan lo contrario.
- Permiso a las bicicletas de carga para efectuar sus labores de carga y descarga en las plazas que suelen estar reservadas a furgonetas y camiones, igualando derechos en ese aspecto en el que hoy en día las bicicletas de carga son menospreciadas.
- Establecimiento de redes entre ciudades de intercambio de conocimiento y buenas prácticas en la que se pueda realizar un buen aprendizaje mutuo.
- Modulado de las densidades: reducir la extremadamente alta densidad que se da en algunos barrios, pues hacen que se llegue a un punto de saturación. A efectos de la atención de las necesidades logísticas de las diferentes zonas de una ciudad, lo mejor es que conserven una densidad media-alta.

Se preguntó también a Txita sobre la importancia de la infraestructura para sus operaciones. Se mencionó la importancia de mantener los carriles bici en buen estado y que éstos sean anchos (recomiendan por su parte una anchura de 1,5 metros por sentido para una mayor seguridad, aunque con 1 metro ya pueden hacer uso de ellos).

Si el carril bici es bueno, resulta mucho mejor utilizarlo que ir por la calzada, aunque para ello deberían cumplirse varios condicionantes además del ancho, como los radios de giro, la ausencia de discontinuidades y la coherencia de sus pendientes. Para conseguir una red efectiva de carriles bici con estas características, lo más probable es que se deban suprimir plazas de aparcamiento en las calles por las que éstos transcurran.

De cualquier forma, desde Txita reconocen que en ciudades de tamaño mediano y con la debida pacificación del tráfico, se puede circular bien y con seguridad por la calzada. Al fin y al cabo, si bien la infraestructura ciclista es importante para el uso de la bicicleta por parte de usuarios individuales, la ciclogística puede adaptarse mejor a la infraestructura “cohecéntrica” existente, aunque, al igual que los vehículos motorizados, son en tal caso susceptibles de sufrir los atascos.

4. Selección de componentes de la solución integral

De la revisión bibliográfica se ha obtenido una gran cantidad de ideas entre las cuales conviene realizar un cribado con el fin de escoger aquellas que sean más eficaces y requieran de la menor cantidad de recursos posible.

Para tomar la decisión sobre cuáles son las ideas a adoptar y cuáles las ideas a descartar, se realiza a continuación un proceso de análisis siguiendo el denominado Proceso Analítico Jerárquico, o AHP por sus siglas en inglés (Analytic Hierarchy Process)⁵⁴.

Como este proceso se limita a cuantificar variables que en el fondo tienen un alto componente de arbitrariedad, la definición de hasta qué punto de cada idea se abarca en la propuesta final se realizará posteriormente, con sus debidos cálculos y cuantificación.

Se adjunta a continuación una lista de las propuestas sacadas como conclusión de la sección Casos de estudio y estado del arte, y que serán las diferentes propuestas a las que aplicaremos el método de decisión AHP.

- Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclogística) en el núcleo central de Santander.
- Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclogística) para cada barrio periférico de Santander.
- Implantación de un sistema de acercamiento en barco de las mercancías al núcleo urbano.
- Implantación de un centro de consolidación único o principal para la ciudad de Santander.
- Implantación de un sistema de micro-centros urbanos de consolidación en diversos barrios de Santander.
- Extensión hacia las afueras y densificación en el centro de la red de carriles bici, proporcionando mejores corredores ciclistas.
- Limitación de la velocidad y capacidad para automóviles en los principales ejes viarios de Santander.
- Implantación de una Zona de Bajas Emisiones.
- Mejora de los servicios de transporte público por autobús de Santander.
- Reparto nocturno de mercancías.
- Instalación de asistentes para que los ciclistas puedan subir cuestas empinadas.⁵⁵

Los criterios en torno a los que se van a valorar las propuestas son los siguientes:

- Coste económico de su implantación y mantenimiento.
- Complementariedad entre las propuestas.
- Molestias e inconveniencias generadas.
- Impacto medioambiental esperado.
- Valor simbólico y recepción entre la población.

Se ha comenzado por asignar valores a los criterios en función de su importancia relativa al compararlos por pares, dando así mayor peso a los criterios más importantes.

⁵⁴ https://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_analítico_jerárquico

⁵⁵ Por ejemplo, similar al elevador de bicicletas Trampe instalado en Trondheim, Noruega. Se trata de lo que comercialmente se ha llamado CycloCable: <https://www.youtube.com/watch?v=pOL1GTkfzxw>

Tal y como se muestra en la Tabla 9, se da en la fila correspondiente a cada criterio un valor mayor que 1 si éste es considerado más importante que el de la columna en la que nos hallamos. Este valor es inferior a 1 si la importancia es a la inversa, e igual a uno en casos de igualdad de importancia. Su definición más precisa depende de la importancia relativa que se desee dar a un criterio sobre su par.

Solamente es necesario llenar el triángulo superior (derecho) de la matriz, así como la diagonal (que lógicamente será de unos). Los valores del triángulo inferior son los inversos a sus correspondientes si la matriz fuera simétrica.

	Coste económico de su implantación y mantenimiento	Complementariedad entre las propuestas	Molestias e inconveniencias generadas	Impacto medioambiental esperado	Valor simbólico y recepción entre la población	TOTAL
Coste económico de su implantación y mantenimiento	1	0,66666667	1,5	0,5	4	0,18461538
Complementariedad entre las propuestas	1,5	1	2,25	0,75	6	0,27692308
Molestias e inconveniencias generadas	0,66666667	0,44444444	1	0,33333333	2,66666667	0,12307692
Impacto medioambiental esperado	2	1,33333333	3	1	8	0,36923077
Valor simbólico y recepción entre la población	0,25	0,16666667	0,375	0,125	1	0,04615385

Tabla 9: Valores relativos y valores de ponderación de los criterios adoptados. Fuente: elaboración propia.

Así, hemos obtenido que el criterio más importante es el del impacto medioambiental esperado (que ponderará por 0,369), seguido de la complementariedad entre las propuestas (ponderación 0,277) y, en tercer lugar, el coste económico (0,185). Las molestias generadas quedan en cuarto lugar con un valor de 0,123 y, en quinto y último lugar, el valor simbólico de la medida (0,046).

Para cada uno de los criterios, se procede de manera similar, pero realizando la comparación entre las propuestas y atendiendo al criterio que corresponda cada vez, uno a uno. En el caso de la Tabla 10, por ejemplo, se muestra esto para el criterio económico. Las 4 tablas posteriores muestran lo mismo para los demás criterios.

Coste económico de su implantación y mantenimiento	Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) en el núcleo central de Santander.	Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) para cada barrio periférico de Santander.	Implantación de un sistema de acercamiento en barco de las mercancías al núcleo urbano.	Implantación de un centro de consolidación único o principal para la ciudad de Santander.	Implantación de un sistema de micro-centros urbanos de consolidación en diversos barrios de Santander.	Extensión hacia las afueras y densificación en el centro de la red de carriles bici, proporcionando mejores corredores ciclistas.	Limitación de la velocidad y capacidad para automóviles en los principales ejes viarios de Santander.	Implantación de una Zona de Bajos Emisiones.	Mejora de los servicios de transporte público por autobús de Santander.	Reparto nocturno de mercancías.	Instalación de asistentes para que los ciclistas puedan subir cuestas empinadas.	Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) en el núcleo central de Santander.	Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) para cada barrio periférico de Santander.	Implantación de un sistema de acercamiento en barco de las mercancías al núcleo urbano.	Implantación de un centro de consolidación único o principal para la ciudad de Santander.	Implantación de un sistema de micro-centros urbanos de consolidación en diversos barrios de Santander.	Extensión hacia las afueras y densificación en el centro de la red de carriles bici, proporcionando mejores corredores ciclistas.	Limitación de la velocidad y capacidad para automóviles en los principales ejes viarios de Santander.	Implantación de una Zona de Bajos Emisiones.	Mejora de los servicios de transporte público por autobús de Santander.	Reparto nocturno de mercancías.	Instalación de asistentes para que los ciclistas puedan subir cuestas empinadas.	TOTAL
1	5	2	1	5	3	3	3	5	2	1	0,17857143												
0,2	1	0,4	0,2	1	0,6	0,6	0,6	1	0,4	0,2	0,03571429												
0,5	2,5	1	0,5	2,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1	0,5	0,08928571												
1	5	2	1	5	3	3	3	5	2	1	0,17857143												
0,2	1	0,4	0,2	1	0,6	0,6	0,6	1	0,4	0,2	0,03571429												
0,33333333	1,66666667	0,66666667	0,33333333	1,66666667	1	1	1	1,66666667	0,66666667	0,33333333	0,05952381												
0,33333333	1,66666667	0,66666667	0,33333333	1,66666667	1	1	1	1,66666667	0,66666667	0,33333333	0,05952381												
0,33333333	1,66666667	0,66666667	0,33333333	1,66666667	1	1	1	1,66666667	0,66666667	0,33333333	0,05952381												
0,2	1	0,4	0,2	1	0,6	0,6	0,6	1	0,4	0,2	0,03571429												
0,5	2,5	1	0,5	2,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1	0,5	0,08928571												
1	5	2	1	5	3	3	3	5	2	1	0,17857143												

Tabla 10: Valores relativos y valores obtenidos por cada una de las propuestas en el apartado "coste económico de su implantación y mantenimiento". Fuente: elaboración propia.

Valor simbólico y recepción entre la población	Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) en el núcleo central de Santander.	Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) para cada barrio periférico de Santander.	Implantación de un sistema de acercamiento en barco de las mercancías al núcleo urbano.	Implantación de un centro de consolidación único o principal para la ciudad de Santander.	Implantación de un sistema de micro-centros urbanos de consolidación en diversos barrios de Santander.	Extensión hacia las afueras y densificación en el centro de la red de carriles bici, proporcionando mejores corredores ciclistas.	Limitación de la velocidad y capacidad para automóviles en los principales ejes viarios de Santander.	Implantación de una Zona de Bajas Emisiones.	Mejora de los servicios de transporte público por autobús de Santander.	Reparto nocturno de mercancías.	Instalación de asistentes para que los ciclistas puedan subir cuestas empinadas.	Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) en el núcleo central de Santander.	Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) para cada barrio periférico de Santander.	Implantación de un sistema de acercamiento en barco de las mercancías al núcleo urbano.	Implantación de un centro de consolidación único o principal para la ciudad de Santander.	Implantación de un sistema de micro-centros urbanos de consolidación en diversos barrios de Santander.	Extensión hacia las afueras y densificación en el centro de la red de carriles bici, proporcionando mejores corredores ciclistas.	Limitación de la velocidad y capacidad para automóviles en los principales ejes viarios de Santander.	Implantación de una Zona de Bajas Emisiones.	Mejora de los servicios de transporte público por autobús de Santander.	Reparto nocturno de mercancías.	Instalación de asistentes para que los ciclistas puedan subir cuestas empinadas.	TOTAL
	1	0,5	2	10	10	5	10	10	10	10	10	2											0,2083333
	2	1	4	20	20	10	20	20	20	20	20	4											0,4166667
	0,5	0,25	1	5	5	2,5	5	5	5	5	5	1											0,1041667
	0,1	0,05	0,2	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,2											0,0208333
	0,1	0,05	0,2	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,2											0,0208333
	0,2	0,1	0,4	2	2	1	2	2	2	2	2	0,4											0,0416667
	0,1	0,05	0,2	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,2											0,0208333
	0,1	0,05	0,2	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,2											0,0208333
	0,1	0,05	0,2	1	1	0,5	1	1	1	1	1	0,2											0,0208333
	0,5	0,25	1	5	5	2,5	5	5	5	5	5	1											0,1041667

Tabla 14: Valores relativos y valores obtenidos por cada una de las propuestas en el apartado "valor simbólico y recepción entre la población". Fuente: elaboración propia.

Todo lo anterior se resume en la Tabla 15, en la que además se realiza la suma de los valores ponderados y se obtiene la clasificación de preferencias. Se incluye también una visualización del resultado final en la Ilustración 20.

Criterio	Cobertura de la población y mantenimiento		Complementariedad entre las propuestas		Mejoras económicas generales		Impacto medioambiental de las propuestas		Valor simbólico y recepción entre la población		TOTAL	CLASIFICACIÓN
	PODERADO	PODERADO	PODERADO	PODERADO	PODERADO	PODERADO	PODERADO	PODERADO	PODERADO	PODERADO		
Peso	0,18461538	0,27692308	0,12307692	0,36923077	0,04615385							
Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) en el núcleo central de Santander.	0,17857143	0,03296703	0,14041404	0,03888389	0,15151515	0,01864802	0,08823529	0,03257919	0,20833333	0,00961538	0,13269351	1
Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) para cada barrio periférico de Santander.	0,03571429	0,00659341	0,03780378	0,01046874	0,05050505	0,00621601	0,17647059	0,06515837	0,41666667	0,01923077	0,10766729	5
Implantación de un sistema de acercamiento en barco de las mercancías al núcleo urbano.	0,08928571	0,01648352	0,14041404	0,03888389	0,13758272	0,01693326	0,08823529	0,03257919	0,10416667	0,00480769	0,10968754	4
Implantación de un centro de consolidación único o principal para la ciudad de Santander.	0,17857143	0,03296703	0,14041404	0,03888389	0,15151515	0,01864802	0,02941176	0,01085973	0,02083333	0,00096154	0,10232021	6
Implantación de un sistema de micro-centros urbanos de consolidación en diversos barrios de Santander.	0,03571429	0,00659341	0,03780378	0,01046874	0,05398816	0,0066447	0,02941176	0,01085973	0,02083333	0,00096154	0,03552811	11
Extensión hacia las afueras y densificación en el centro de la red de carriles bici, proporcionando mejores corredores ciclistas.	0,05952381	0,01098901	0,03780378	0,01046874	0,03030303	0,0037296	0,08823529	0,03257919	0,04166667	0,00192308	0,05968962	9
Limitación de la velocidad y capacidad para automóviles en los principales ejes viarios de Santander.	0,05952381	0,01098901	0,14041404	0,03888389	0,03030303	0,0037296	0,17647059	0,06515837	0,02083333	0,00096154	0,11972241	2
Implantación de una Zona de Bajas Emisiones.	0,05952381	0,01098901	0,14041404	0,03888389	0,03030303	0,0037296	0,17647059	0,06515837	0,02083333	0,00096154	0,11972241	2
Mejora de los servicios de transporte público por autobús de Santander.	0,03571429	0,00659341	0,06750675	0,01869418	0,16196447	0,01993409	0,08823529	0,03257919	0,02083333	0,00096154	0,0787624	8
Reparto nocturno de mercancías.	0,08928571	0,01648352	0,04680468	0,0129613	0,05050505	0,00621601	0,02941176	0,01085973	0,02083333	0,00096154	0,04748209	10
Instalación de asistentes para que los ciclistas puedan subir cuestas empinadas.	0,17857143	0,03296703	0,07020702	0,01944194	0,15151515	0,01864802	0,02941176	0,01085973	0,10416667	0,00480769	0,08672442	7

Tabla 15: Resumen de los valores obtenidos en el análisis y resultados finales. Fuente: elaboración propia.

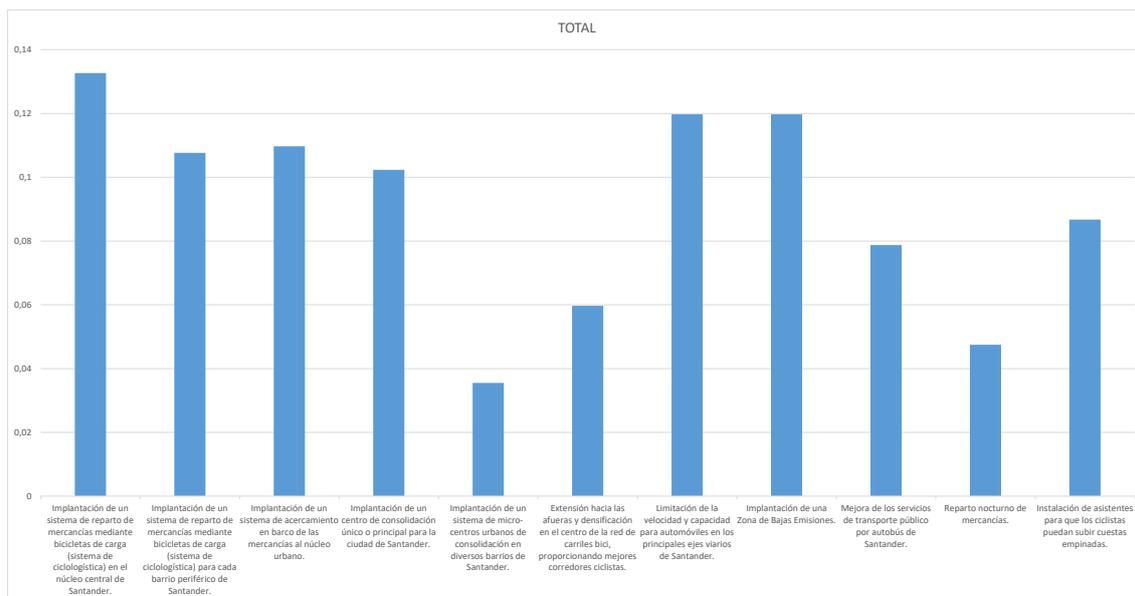


Ilustración 20: Resultados del AHP. Puntuaciones de cada una de las propuestas. Fuente: elaboración propia.

Se ha obtenido que la mejor solución sería la implantación del sistema de ciclologística en el centro de Santander, siendo la peor propuesta el establecimiento de micro-centros de consolidación en los múltiples barrios de Santander, que es la peor clasificada (o empatada en ese puesto) en 4 de los 5 criterios.

Las 6 propuestas mejor clasificadas (y que han obtenido una puntuación superior a 0,1) son las siguientes:

- Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) en el núcleo central de Santander.
- Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclologística) para cada barrio periférico de Santander.
- Implantación de un sistema de acercamiento en barco de las mercancías al núcleo urbano.
- Implantación de un centro de consolidación único o principal para la ciudad de Santander.
- Limitación de la velocidad y capacidad para automóviles en los principales ejes viarios de Santander.
- Implantación de una Zona de Bajas Emisiones.

De ellas, se opta por adoptar todas menos una (implantación de un sistema de ciclologística para cada barrio periférico de Santander), al tener que ser adoptada de la mano de la propuesta clasificada en último lugar para ser efectiva. Las cinco propuestas seleccionadas son complementarias entre sí y, en algunos casos, se necesitan unas a otras.

Las cinco propuestas clasificadas en los últimos lugares quedan descartadas para la elaboración del modelo de la solución salvo la que implica la extensión de la red ciclable, pues es una buena medida complementaria de la limitación de velocidad y capacidad para automóviles buscando un cambio en la movilidad en la ciudad.

De cualquier forma, las propuestas descartadas quedan recomendadas para el caso en el que se quisiera realizar una solución más ambiciosa.

En conclusión, se propone que la solución quede integrada por los siguientes componentes:

- Implantación de un sistema de reparto de mercancías mediante bicicletas de carga (sistema de ciclogística) en el núcleo central de Santander.
- Implantación de un sistema de acercamiento en barco de las mercancías al núcleo urbano.
- Implantación de un centro de consolidación único o principal para la ciudad de Santander.
- Extensión hacia las afueras y densificación en el centro de la red de carriles bici, proporcionando mejores corredores ciclistas.
- Limitación de la velocidad y capacidad para automóviles en los principales ejes viarios de Santander.
- Implantación de una Zona de Bajas Emisiones.

5. Definición de la solución

Habiendo obtenido ya el listado de propuestas de las que se compondrá la solución, es el momento de realizar una definición de la solución a adoptar y sus variantes a estudiar.

Se explican a continuación, de manera más detallada, las ideas que se propone adoptar, además de los límites de la solución integral. Para ambos casos, se indica tanto cómo se propone su implantación, como cómo se realizará su cálculo.

5.1. Sistema de ciclogística

5.1.1. Tipos de envíos a cubrir

Como venimos diciendo, no todas las mercancías podrían ser transportadas con garantías en una primera fase del plan, siendo deseable empezar por una fracción de las mismas.

Se propone que el sistema se plantee como de uso obligado para aquellas mercancías en las que se pueda aplicar, en lugar de ser de libre competencia. Se espera así garantizar un verdadero cambio de paradigma y de forma acorde al espíritu de los últimos avances en materia de movilidad que están quedando plasmados en leyes.

Como se verá a continuación, la información de los envíos de la que se ha podido disponer para este trabajo es de mercancía genérica a comercios. Por lo tanto, no incluye los envíos de paquetería a domicilio, que serían en realidad los envíos más interesantes de cara al sistema de ciclogística dadas su aún mayor atomización y su ligereza.

En el caso de Santander, se dispone de datos de reparto de mercancías categorizadas en los siguientes tipos⁵⁶:

- Materiales de construcción
- Textil
- Comida
- Accesorios de hogar
- Artículos de higiene del hogar y personal
- Papelería
- Resto de mercancías

Se ha optado por eliminar de entrada el envío de materiales de construcción mediante este sistema, al tratarse de mercancías muy difícilmente acarreables mediante bicicletas de carga, además de la falta de datos sobre los lugares en los que se demandarían (no se ha encontrado un listado de los lugares con obras en curso en Santander). El resto de las categorías sí que se han tenido inicialmente en cuenta, si bien algunas de ellas finalmente se han descartado, como veremos a continuación.

Para realizar el trabajo se ha dispuesto de una base de datos de comercios activos en Santander del año 2010, en la que se especificaban la actividad del comercio mediante el código CNAE93, su tamaño en número de empleados y su ubicación.

⁵⁶ Esta separación, así como sus datos asociados (total de mercancías por categoría que se reparten de media un día en Santander, así como el peso medio de la entrega por tipo de mercancía), se realiza según:

Nuzzolo, A., Comi, A., Ibeas, A., Moura, J.L. Urban freight transport and city logistics policies: Indications from Rome, Barcelona and Santander. *International Journal of Sustainable Transportation*. 2016, 10:6. <https://doi.org/10.1080/15568318.2015.1014778>

Con estos datos, se ha establecido una relación entre cada tipología de comercio y la principal categoría de mercancía que recibe. Dada la elevada cantidad de comercios que, a efectos de reparto de mercancías, operan esencialmente como si fueran oficinas, se ha dividido la categoría de papelería en dos, separando así los envíos a los comercios que reciben papelería de los que son para oficinas.

Siguiendo esta separación, se ha realizado una agregación por zona del modelo de tráfico de los comercios en función de su tipo de envío principal. Esta agregación ha sido ponderada de manera acorde al tamaño de cada comercio.

Dependiendo de la ambición del sistema (medida como el porcentaje de envíos de cada tipo a ser cubiertos mediante envíos con bicicletas de carga dentro de la zona objetivo del sistema de ciclologística), se han elaborado dos familias de escenarios, que se detallan en la Tabla 16.

Tipo de envío	Escenarios tipo 1	Escenarios tipo 2
Textil	50%	25%
Comida	0%	0%
Accesorios de hogar	25%	0%
Higiene personal y del hogar	25%	25%
Papelería a comercios	50%	25%
Papelería a oficinas	50%	25%
Resto de mercancías	25%	0%

Tabla 16: Familias de escenarios en función de la cantidad de envíos que se realizan mediante bicicleta de carga en cada uno de ellos. Fuente: elaboración propia.

En consecuencia, los modelos calculados para este trabajo están preparados para mostrar resultados de envíos mediante ciclologística para todos los tipos de mercancías salvo los materiales de construcción, bastaría con modificarles el correspondiente porcentaje de envíos a cubrir y seguir el proceso de cálculo que se explica en el apartado “Modificaciones comunes a ambas familias de escenarios”

5.1.2. Zonas objetivo

En este documento se denomina “zonas objetivo” a las zonas de operación del sistema de ciclologística, es decir, las zonas en las bicicletas de carga realizarán sus envíos.

La selección de estas zonas objetivo se ha hecho combinando criterios de actividad comercial y concentración de residentes con la orografía de la ciudad. De esta manera, se ha buscado centrarse en zonas relativamente llanas de la ciudad o que, al menos, no queden tras prolongadas cuestas y que tengan unas importantes densidades de población y actividad comercial.

Siguiendo los consejos recibidos en la reunión con Txita, se ha adaptado la zona objetivo de tal forma que sea coincidente con los límites de los códigos postales.

Así, se propone que nos centremos en las zonas que quedan delimitadas por los códigos postales 39002, 39003 y 39009. Estas zonas seleccionadas, además de estar ubicadas en su mayoría en terreno relativamente llano (o en el que, al menos, no da el espacio para que se formen pendientes pronunciadas de gran longitud), no distan demasiado de las posibles zonas de descarga y, más concretamente, de la zona de la terminal del ferry: La confluencia entre las calles Castilla y Marqués de la Hermida, punto más alejado de toda la zona objetivo, está a menos de 2 km del Centro Botín, punto del que la plaza de Amaliach (entrada sur al túnel de Puertochico), el otro extremo de la zona objetivo, apenas dista de 1 km.

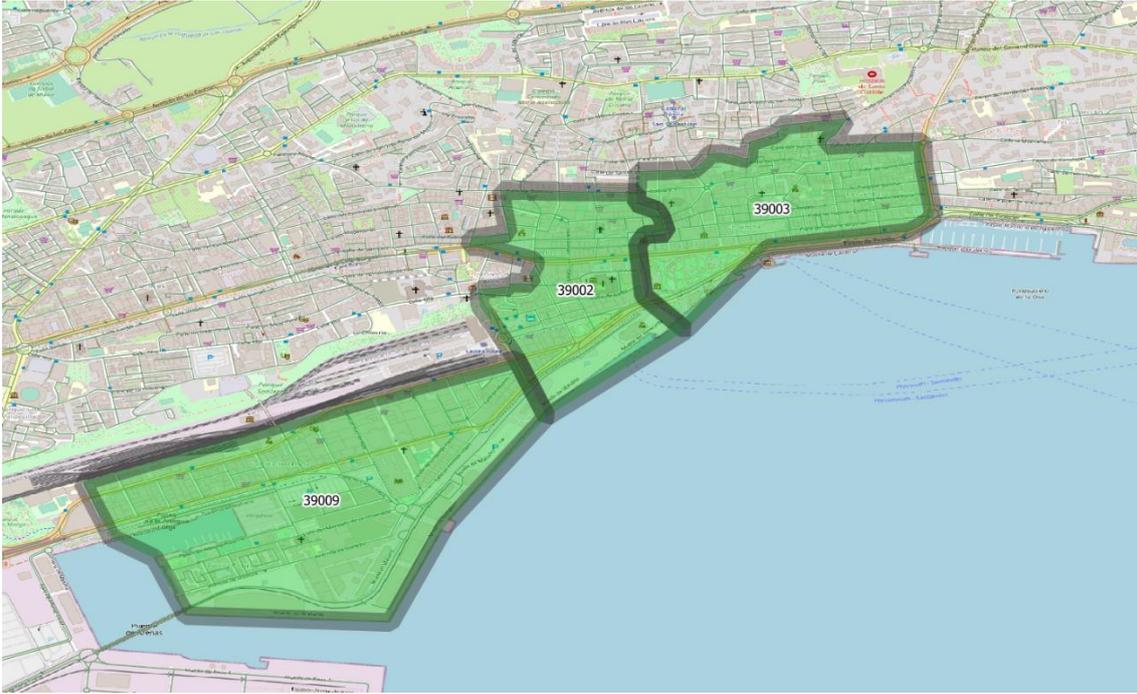


Ilustración 21: Códigos postales para los que se propone la solución. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.

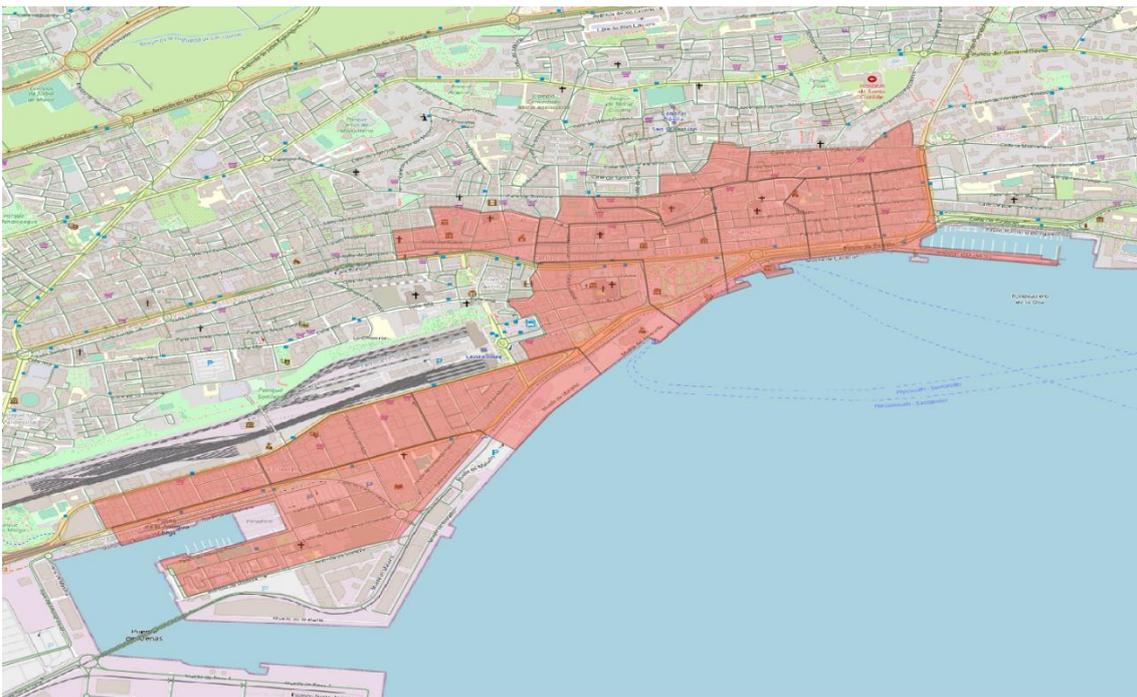


Ilustración 22: Zonas del modelo seleccionadas. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.

Tal y como se puede constatar en la Ilustración 23, la correspondencia entre zonas del modelo y códigos postales no es perfecta. Se ha optado, no obstante, por dejarlo así por una cuestión de facilidad de cálculo. El conseguir que las zonas fueran exactamente iguales, con la información de partida recibida, implicaría la creación de numerosas zonas adicionales que complicarían aún más un modelo que ya de partida es muy grande y cuyo cálculo y análisis requiere de bastantes recursos computacionales.

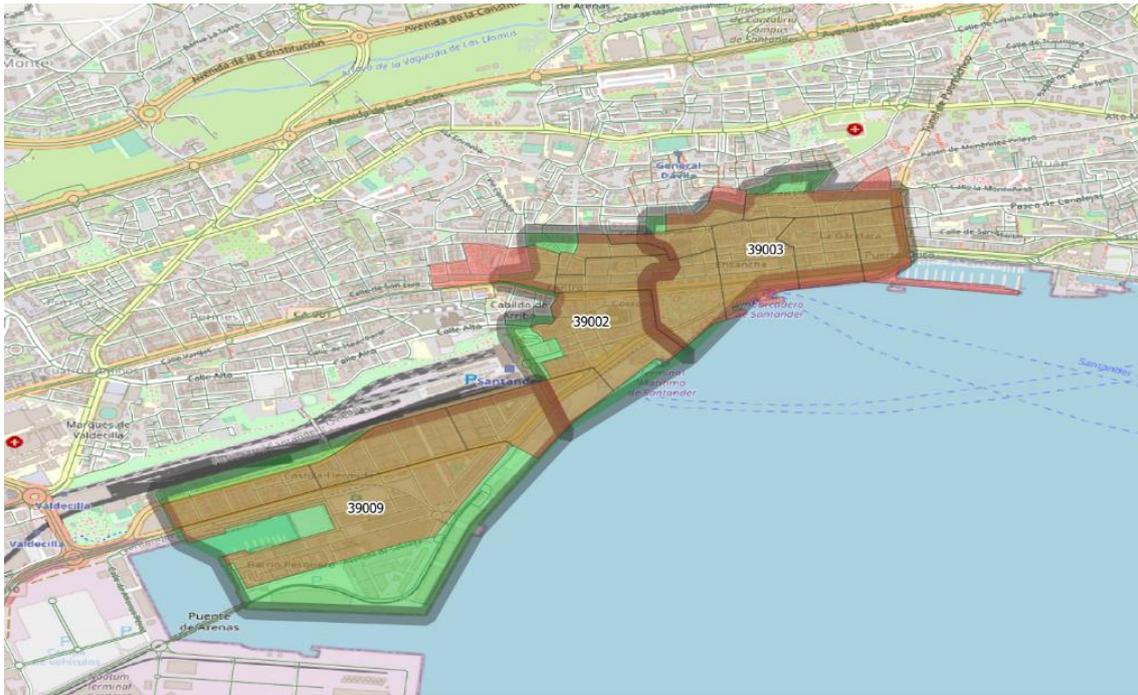


Ilustración 23: Superposición de las zonas objetivo en el modelo Visum con los códigos postales seleccionados.
Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.

La simulación del sistema de ciclogística se realizará dentro del modelo de Visum, utilizando herramientas específicas de los sistemas de transporte de mercancías que vienen integradas en el programa. Una parte de los trayectos hechos por vehículos de carga en estas zonas será suprimida, trasladando su demanda a las bicicletas de carga.

5.1.3. Centro de consolidación

Para la ubicación del centro de consolidación hay, a grandes rasgos, dos opciones:

- Ubicar el centro de consolidación en el centro de Santander, realizándose por lo tanto esta consolidación a la llegada de las mercancías por barco al centro.
- Ubicar el centro de consolidación en las afueras de Santander, en el entorno de donde vaya a estar el embarcadero en el que se carguen las mercancías al barco que vaya a transportarlas al centro de Santander. De esta forma, la consolidación se haría de forma previa a la fase de transporte por barco.

La primera opción presenta varios inconvenientes. En primer lugar, está la necesidad de espacio en el centro urbano de Santander para construir un centro de consolidación que podría ocupar varios centenares de metros cuadrados, y cuyo acceso debería ser sencillo desde la zona en la que atracaría el barco.

También hay que destacar que, de no haber un centro de consolidación en la zona de origen del barco, debería ubicarse un almacén allí de cualquier forma, puesto que es muy probable que la mercancía traída por los camiones deba dejarse durante un tiempo a la espera de su ser embarcada.

Por último, también hay que recordar que es en el barco cuando los viajes quedarán “entrocados” (mismo origen parcial y mismo destino parcial). De aquí surge la recomendación de que, para ahorrar viajes, estos trayectos no se hagan con mercancía sin consolidar al ser más difícil llenar el barco al máximo de su capacidad.

La segunda opción no presenta los inconvenientes de la primera, convirtiéndose estos de hecho en sus alicientes. Sí que, no obstante, esta opción necesita de una zona junto a la zona de atraque de los barcos en el centro en la que poder depositar los contenedores.

Al contrario que para la primera opción, esta zona no tiene por qué ser edificada, sino simplemente vallada, permitiendo dejar los contenedores con la mercancía ya consolidada en dicha zona de manera segura para que el sistema de ciclologística vaya repartiéndola.

Se opta, por lo tanto, por ubicar el centro de consolidación en el entorno del lugar del que zarpará el barco cargado. Pasamos ahora a decidir el lugar idóneo para ello.

Por otra parte, también debe decidirse el sistema de funcionamiento de dicho centro.

De acuerdo con la información que Alberto de la Calle (profesor de la facultad de ingeniería de la Universidad de Deusto) proporcionó en una entrevista, hay varias formas de diferenciar el modelo de funcionamiento de un centro de consolidación⁵⁷, tal y como se indica en Lekuona y De la Calle (2019)⁵⁸:

La primera de ellas es en función de la jerarquía que ocupa en la cadena de suministro. Atendiendo a ello, un centro de consolidación puede ser:

- Componente principal de un sistema centralizado, en el que un único centro de consolidación principal sirve a toda la zona objetivo. Se propone que sea éste el modelo elegido para el caso que nos atañe, al ser mucho más conveniente que el resto de opciones tanto por la escala propuesta como por la mayor mutualización de los envíos que así se conseguiría.
- Parte de un sistema jerarquizado, en el que unos centros de consolidación de menor tamaño cuelgan de uno o varios superiores. Este debería ser el sistema en el caso de que se ampliara el sistema de ciclologística a barrios del interior de Santander: En cada barrio habría un centro de consolidación dependiente de uno de rango superior, que estaría situado o bien a la entrada a la ciudad por alguno de los ejes carreteros, o en Raos.
- Parte de un sistema de centros independientes, en el que hay varios de ellos en paralelo. Esto es más o menos la situación actual, en la que cada empresa logística tiene su propio almacén.

Un segundo sistema de clasificación es en función del propósito o ámbito que va a ser cubierto por el centro de consolidación, que puede ser una serie de barrios o una ciudad entera, un único edificio con una fuerte demanda que lo justifique, o una obra para la que la cantidad de materiales de construcción que entran así lo requiera.

El tercer sistema de clasificación de los centros de consolidación es en función de su tipo de gestión, distinguiéndose:

- Los de gestión pública, en los que la administración pública competente es responsable tanto de su gestión como de su explotación. Para garantizar que en una primera fase de

⁵⁷ Hasta el final de este subapartado, y salvo por las especificaciones hechas por el autor de este trabajo en las que se propone qué formatos escoger para el sistema que se está proponiendo, la información proviene toda ella de una misma presentación transmitida por el Alberto de la Calle (nota 58).

⁵⁸ Lekuona, G., De la Calle, A. Hubs Urbanos de Distribución. Presentada por el Clúster de Movilidad y Logística de Euskadi y la Universidad de Deusto al Ayuntamiento de Bilbao (2019).

su implantación no surjan problemas de competencia que afecten al correcto funcionamiento de este sistema, seguramente esta se trate de la mejor solución.

- Los de gestión privada, que pueden ser gestionados y explotados por un único operador logístico privado, por un consorcio de operadores o por una alianza entre los usuarios de dicho centro (una asociación de comerciantes, por ejemplo). De cara a este trabajo, se propone que este modelo solamente sea considerando una vez el sistema estuviera sólidamente implantado y dando buena muestra de sus beneficios a los comerciantes y a la población en general.
- Los de gestión público – privada, entre los que destacan varios modelos. Todos ellos podrían ser interesantes de cara a una primera implantación parcial o escalada del sistema, entendiendo que se buscaría compensar pérdidas económicas a las empresas que formen parte de esta propuesta mientras se esté probando:
 - Modelo de Mónaco, en el que la operación del centro sale a licitación para un único operador logístico, pero la infraestructura y medios siguen siendo de titularidad pública.
 - Modelo de Holanda, en el que se conceden una serie de licencias a varios operadores para que éstos puedan usar el centro, a cambio de un canon.
 - Modelo de Padua, mediante el que se concreta un acuerdo marco entre la administración pública y entidades privadas, entre las que se incluyen operadores logísticos y comerciantes. Este acuerdo especifica la operación del centro y del sistema logístico asociado, así como otras normas asociadas.
 - Modelo de Vincenza, en el que administración pública y empresa privada constituyen de manera conjunta una empresa específica para la operación del centro.

En el mismo documento, Lekuona y De La Calle (2019) indican algunos errores comunes que se han dado en casos de ciudades en los que este tipo de sistemas han fracasado. A continuación, se exponen estos errores comunes y cómo se evita caer en ellos en este trabajo:

- Uso de datos inexactos de la logística de la ciudad
 - Si bien se ha contado con datos de envíos de mercancía en 2016, como ya se ha expuesto sería mejor haber podido diseñar el sistema atendiendo también a los datos de envíos de paquetería. No obstante, se ha reconstruido de la mejor manera posible la demanda de mercancías de los comercios de la ciudad, atendiendo tanto a la literatura científica al respecto como a las recomendaciones del director de este trabajo dados los recursos disponibles.
- Soluciones que no resuelven el problema real del cliente, sino que lo agravan (mayor tiempo de entrega).
 - Además de haber seleccionado el tipo de mercancías que entregar mediante el sistema propuesto evitando llevar productos que suelen requerir de un envío más urgente como la comida o los materiales de construcción, e ha considerado una pequeña fracción de las categorías que sí que se han tenido en cuenta, asumiendo que se trataría de los envíos más ligeros y menos urgentes.
- El hub supone un agente más en la cadena (ralentiza y encarece la cadena de suministro).
 - Se ha considerado que el beneficio en materia de tráfico para la ciudad compensa el posible perjuicio que haya asociado a esto. Además, se ha tratado de mantener el flujo actual: por una parte, el centro de consolidación de Raos vendría a ser un sustituto (parcial) de los centros de cada uno de los operadores

logísticos y, por la otra, al llevarse los envíos ya consolidados en el barco, la fase de cambio de modo entre barco y bicicleta de carga no supondría ninguna demora adicional considerable.

- El modelo de ingresos no es sólido, no se alcanza la masa crítica
 - Se ha propuesto una zona compuesta por tres códigos postales y en la cual se concentra buena parte de la demanda de mercancías por parte de los negocios de la ciudad. Se estima que el sistema podría ser capaz de atender varias decenas de toneladas al día.
- Volatilidad del marco regulatorio o de las condiciones del entorno
 - Uno de los motivos por los que se sugiere una gestión pública de este sistema es precisamente para eliminar este factor.

5.2. Sistema de acercamiento de las mercancías en barco

5.2.1. Ubicación del punto de partida del barco

Los posibles puntos de partida deberán cumplir con dos condicionantes básicos: por una parte, deberán situarse en un lugar tal que permitan reducir el tráfico en el entorno de la S-10 en su tramo entre la A-67 y la glorieta junto al Parque de La Marga. Por la otra, deberá requerirse la menor cantidad de obra posible, tanto para su acceso por carretera o ferrocarril (que deberían ser relativamente directos desde alguna de las vías de gran capacidad existentes) como para su zona de embarcadero o el centro de consolidación.

También es recomendable que haya ya empresas de logística ubicadas en su entorno.

Se han identificado dos zonas potencialmente válidas para la instalación de dicho punto de partida: el Polígono Industrial de Raos y el embarcadero de Peña Hermosa, mostradas en la Ilustración 24.



Ilustración 24: Ubicaciones posibles: Raos y Peña Hermosa, y sus accesos desde la S-10 y A-67 Fuente: elaboración propia sobre imagen de Google Earth.

Se puede ver, en primer lugar, que el acceso a Raos es mucho más sencillo que a Peña Hermosa, desde cualquiera de los dos orígenes escogidos (S-10 y A-67). Esto queda corroborado con la búsqueda de la duración de dichos trayectos en Google Maps un martes en hora punta de mañana, como se muestra en la Tabla 17.

Destino	Origen	Tiempo
RAOS	A-67 (puente sobre las vías de RENFE)	5-7 minutos
RAOS	S-10 (a la altura de la estación de FEVE de Astillero)	5-7 minutos
PEÑA HERMOSA	A-67 (puente sobre las vías de RENFE)	7-10 minutos
PEÑA HERMOSA	S-10 (a la altura de la estación de FEVE de Astillero)	5 minutos

Tabla 17: Duración de los trayectos entre las vías de gran capacidad y los posibles emplazamientos. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Google Traffic.

De cualquier forma, se ha procedido a realizar un listado de las empresas de logística y similares existentes en ambos entornos, por si ello hiciera cambiar el lado del que se decantaría la balanza por lo visto hasta ahora.

En el entorno del Polígono Industrial de Raos, se encuentran las siguientes empresas:

Empresa	Dirección	Sitio web
ABC Logistic	Calle Fragata, 203, Camargo, Cantabria	https://abclogistic.es/

Sending Transporte y Comunicación S.A.U.	Puerto Raos, 39600 Maliaño, Cantabria	-
SGEL Cantabria	Polg. Ind. Raos, C/Galera, 96 ó C/Fragata 97, Maliaño, Cantabria	http://www.sgel.es/
TIPSA	C/Raos-Galera, Polígono de Raos, 11, 39600 Camargo, Cantabria	http://www.tip-sa.com/
MRW	Polígono de Raos, Parcela 12, 39600 Camargo, Cantabria	https://www.mrw.es/
Otrebor Operador Logístico, S.L.	12, G, D, Nave 004, 39600 Maliaño, Cantabria	-
COBASA Grupo Logístico, S.A.	Polígono de Raos, S/N, Edificio Puerta, 39600 Camargo, Cantabria	http://www.cobasa.net/
Amazon (taquillas de recogida de pedidos)	Gasolinera Repsol. C. Bergantín, 1B, 39600 Santander, Cantabria	
Correos (taquillas de recogida de pedidos)	Lugar de acceso restringido	

Tabla 18: Empresas de transporte, logística y distribución en el Polígono Industrial de Raos. Fuente: elaboración propia.

En el entorno de Peña Hermosa se encuentran las siguientes:

Empresa	Dirección	Sitio web
Beralan	P.I. La Cerrada. 39600, Cantabria	http://www.beralan.com/
Coca-Cola European Partners Iberia, S.L.U	Avd. Juan Carlos I, S/N - Centro Riamar, 39600 Maliaño, Cantabria	-
Transportes Ezquerro Mazo	Avenida Juan Carlos, s/n, 39600 Maliaño, Cantabria	https://www.ezquerramazo.com/
Palibex	Avda. Juan Carlos I, S/N, 39600 Maliaño, Cantabria	https://www.palibex.com/
Correos (taquillas de recogida de pedidos)	Lugar de acceso restringido	

Tabla 19: Empresas de transporte, logística y distribución en el entorno de los embarcaderos del Carmen y de Peña Hermosa. Fuente: elaboración propia.

Con todo lo expuesto, queda patente que la ubicación idónea del embarcadero a las afueras de Santander es Raos. La zona dispone de solares y naves en los que poder instalar un centro de consolidación que, además, pueda ampliarse si se desea que el sistema transporte mayores volúmenes de mercancía.

La modelización de lo que esto implica a efectos de la red de tráfico se integrará dentro del modelo hecho en Visum, haciendo que la parte correspondiente de los vehículos se dirijan a Raos en lugar de a las zonas del centro de Santander a las que suelen ir.

5.2.2. Ubicación del punto de llegada del barco a Santander

Para la ubicación del punto de llegada del barco, se han barajado dos opciones, teniendo en cuenta que éste debe ubicarse en el entorno de las zonas objetivo para reducir la longitud de los trayectos hechos en bicicleta.

La primera opción es usar la dársena de Maliaño (entre la calle Marqués de la Hermita y el barrio Pesquero). Esto haría que, de ser un punto único, los trayectos hacia el centro fueran de una longitud mucho mayor que si el punto de llegada se ubicara en una zona más a medio camino entre los extremos. Esta opción ha quedado descartada para ejercer como punto único de llegada del barco, pero se ha valorado como punto de apoyo adicional.

La segunda opción, que ha resultado elegida, es ubicar el punto de llegada en las inmediaciones del Centro Botín. Es un entorno más centrado en la zona objetivo y permite llegar a todas partes sin dar excesivas vueltas ni tener que lidiar con fuertes pendientes.

Una pequeña zona vallada en la que se depositen las mercancías a la espera de ser cargadas en las bicicletas de carga no debería suponer ningún perjuicio, visto el vallado que hay cercando la terminal de ferrys. Un caso similar sería el de la dársena de Maliaño, en la que hay espacio para que su instalación no sea perjudicial.

Se han modelizado por lo tanto dos vertientes para cada familia de escenarios, tal y como se indica en la Tabla 20.

Punto de depósito	Escenarios por defecto	Escenarios "b"
Centro Botín	SÍ	SÍ
Dársena de Maliaño	NO	SÍ

Tabla 20: Escenarios en función de los puntos de llegada del barco. Fuente: elaboración propia.

Su modelización se hará dentro del modelo Visum y mediante la implantación, en cada uno de los puntos correspondientes, de un conector que vierta a la red la generación de los viajes que serán hechos por las bicicletas de carga.

5.3. Red ciclable

Se propone una red ciclable extensa, superior a lo que se viene dando en las iniciativas que desde los diferentes niveles de la Administración se están ejecutando.

Se densificaría notablemente el mallado de carriles bici en el centro (llegando a haber un carril bici dedicado por sentido cada dos o tres calles), mientras que a medida que nos alejamos del centro de Santander nos iríamos encontrando con carriles en las principales calles que comunican entre barrios, llegando también a las zonas más periféricas de la ciudad.

De esta forma, se estaría proporcionando una verdadera red estructurante de carriles bici en Santander, útil para los desplazamientos del día a día de su población y que favorece la conexión entre sus barrios.

Los carriles bici se han incluido en el modelo de tráfico como modificación de la red de Santander (siguiendo los criterios ya seguidos por los autores del modelo para la inclusión de carriles bici), para así tener en cuenta la incidencia que tendrían.

5.4. Limitaciones de capacidad para automóviles en los ejes principales

Se ha realizado una selección de ejes principales de Santander en los que implementar restricciones de velocidad y capacidad, con el fin de que dejen de ser vías principales que

favorecen el acceso por coche a la ciudad y, en consecuencia, más gente opte por medios alternativos.

Los ejes seleccionados son los siguientes:

- Paseo de José María Pereda
- Casimiro Sainz
- Castelar
- Avenida Reina Victoria
- Túnel de Tetuán
- Marqués de la Hermida
- Castilla
- Jerónimo Sainz de la Maza
- S-21 (Distribuidor La Marga – La Albericia)
- Avenida de Los Castros
- Conector entre Los Castros y la S-20

Para que su efecto se tenga en cuenta, se incluye dentro de las modificaciones de red del modelo de tráfico.

5.5. Zonas de bajas emisiones

Puesto que se trata de una predicción a futuro de una medida no implantada aún en Santander, se ha realizado una aproximación básica a lo que podría ser la Zona de Bajas Emisiones de Santander. Así, se ha considerado directamente una Zona de Bajas Emisiones a la que solamente el tráfico que se dirige a ella puede acceder (es decir, no puede atravesarse)⁵⁹.

La ZBE tomada es de gran amplitud. Así, todo lo que quedara perimetrado por la costa, la Avenida de Los Castros y las calles Jerónimo Sainz de la Maza y Camilo Alonso Vega sería objeto de la prohibición de acceso salvo para viajes con destino interno a ellas. Esto supondría tener una ZBE de unas 426 hectáreas.

Su perímetro viene conformado por las siguientes calles (ordenadas en sentido horario):

- Paseo de Pereda
- Calle Antonio López
- Calle Castilla
- Calle Jerónimo Sainz de la Maza
- Calle Camilo Alonso Vega
- Avenida de Los Castros
- Avenida Castañeda
- Avenida de la Reina Victoria
- Calle Castelar
- Paseo Pereda

⁵⁹ Si bien la normativa para la implantación de las Zonas de Bajas Emisiones establece que las restricciones deberán hacerse dependiendo de la categoría de cada vehículo en función de su potencial contaminante, al no disponerse de datos del parque móvil por zonas de Santander se ha optado por esta solución.



Ilustración 25: ZBE considerada. Fuente: elaboración propia sobre imagen de Openstreetmap.

Esta zona se ha modelizado dentro del modelo de tráfico, como se ha indicado antes estableciendo que está prohibido atravesarla en coche o vehículo pesado, pero que permite el paso a quienes tienen origen o destino en ellas, a falta de conocer los datos de residencia asociados a los viajes en el modelo. Se han realizado variaciones de escenario con dicha zona activa para coches y vehículos pesados, con la zona activa solo para coches, y con la zona totalmente desactivada.

6. Modelo: escenarios desarrollados

Se han elaborado 9 escenarios haciendo modificaciones a partir de un escenario proporcionado por el SUMLAB que contiene la situación actual de Santander. En esta sección se explican las principales características de cada uno con sus respectivas modificaciones introducidas.

El escenario de partida está calibrado y contiene información fidedigna de la situación de tráfico actual en Santander. Considera tanto el transporte privado como el transporte público. Los modos de transporte privado incluidos son “coche” (que engloba a todos los vehículos a motor de transporte privado), “vehículos de movilidad personal” (donde quedan enmarcados bicicletas, patinetes y resto de vehículos sin motor o con uno que no alcanza la potencia para ser considerado como vehículo motorizado) y “peatón”.

Por lo tanto, el escenario de partida no realiza diferenciación alguna entre los vehículos a motor ligeros y pesados. Es por ello por lo que se le ha tenido que realizar una modificación para contar con un escenario base en el que sí que nos encontremos con los automóviles y los vehículos privados pesados por separado.

Posteriormente se han incluido el resto de las modificaciones, entre las que se incluyen algunas comunes como las limitaciones de velocidad y capacidad y la red de carriles bici extendida. Se ha mantenido el mismo horizonte temporal del escenario original (2022) pues, al no contarse con acceso a los planes a futuro, se ha optado por realizar todas las comparaciones sobre lo existente.

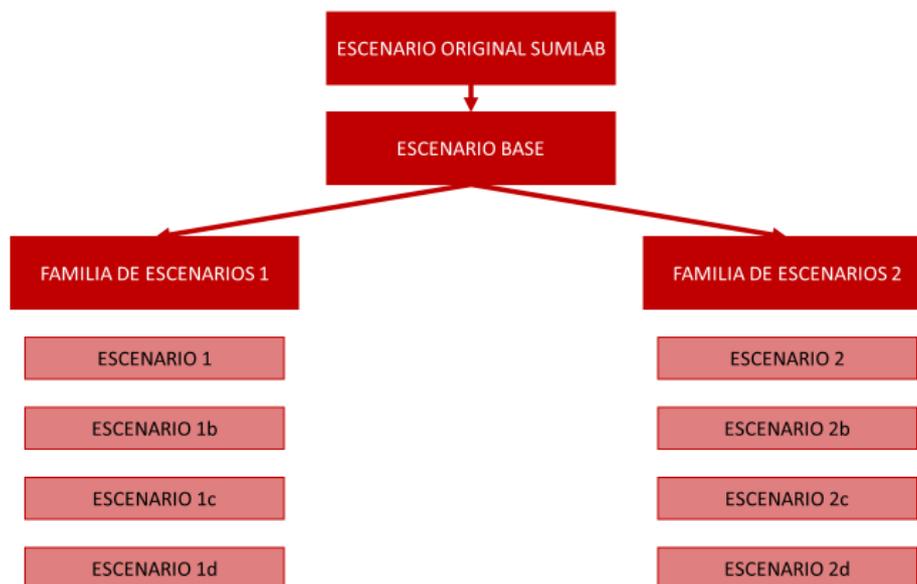


Ilustración 26: Esquema de precedencias entre escenarios. Fuente: elaboración propia.

Se explican a continuación los escenarios y sus características principales.

6.1. Escenario Original SUMLAB

Se trata del escenario base elaborado por el Sum+Lab con la situación actual en Santander, calibrado a fecha de 2022. Compuesto de 3718 arcos, modeliza 488,75 km de red viaria, abarcando todo el término municipal de Santander.

Está dividido en 119 zonas de demanda: 113 zonas internas, de un tamaño medio de $0,39 \text{ km}^2$ y 6 externas. El tamaño de las zonas internas es fuertemente dependiente de su ubicación, pues son de mucha menor área en la zona céntrica que a las afueras. Tal y como se ve en la Ilustración 27, más de dos tercios de las zonas tienen un área inferior a $0,25 \text{ km}^2$ y hay gran disparidad en tamaños, llegando a haber zonas de más de 3 km^2 .

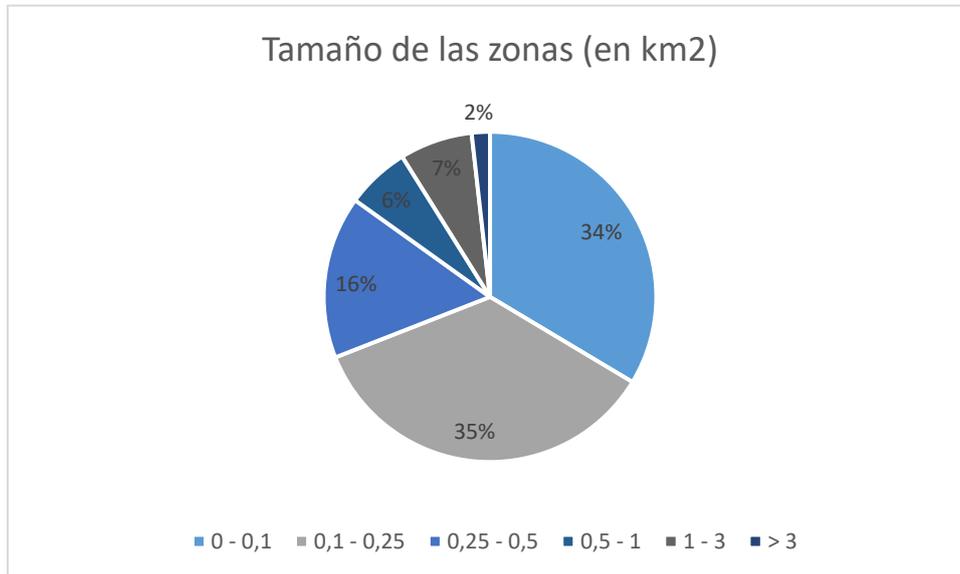


Ilustración 27: Reparto de las zonas por tamaño. Fuente_ elaboración propia a partir de datos del modelo de SUM+LAB

En este modelo se realiza un cálculo del tráfico en la red viaria que discurre por el municipio de Santander, estableciendo en primer lugar una precarga de la red y posteriormente, en varias iteraciones, realizando un reparto modal y su correspondiente asignación a la red.

El sistema de cálculo se muestra de manera simplificada en la Ilustración 28.



Ilustración 28: Sistema de cálculo simplificado del modelo de Santander del SUMLAB. Fuente: elaboración propia.

6.2. Escenario Base: Inclusión de la demanda de vehículos pesados

Partiendo del modelo original del SUMLAB, se han realizado varias modificaciones a su sistema de cálculo para realizar una diferenciación entre los vehículos privados a motor ligeros y pesados. Para ello se ha establecido una forma de estimar la demanda de los vehículos de reparto de mercancías y, posteriormente, se ha hecho un recálculo de la demanda de vehículos ligeros en función de lo que serían sus nuevos números en la red una vez descontados los pesados.

La demanda se ha obtenido siguiendo lo hecho por Nuzzolo, Comi, Ibeas y Moura (2016)⁶⁰ en el caso de Santander, y utilizando datos de dicho artículo.

En primer lugar se han obtenido los valores de cantidades totales diarias de cada tipo de mercancía atraída por carretera a Santander, indicadas en el artículo arriba mencionado y que se indican en la Tabla 21.

Tipo de mercancía	Toneladas / día
Textil	469,1
Alimentación	2389,3
Accesorios de hogar	746,3
Limpieza personal y del hogar	213,2
Papelería	540,2
Otros bienes	944,4
Total	5302,5

Tabla 21: Mercancías atraídas diariamente por los comercios de Santander. Fuente: adaptado de Nuzzolo, Comi, Ibeas y Moura (2016)

Se ha realizado una estimación del porcentaje de esta mercancía que entra por cada uno de los principales ejes de acceso a Santander, basado en los datos del Mapa de Tráfico 2019⁶¹ del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Se han tomado los datos de vehículos pesados de 5 puntos de entrada (S-10, N-623, S-30, N-611, A-67 y CA-231). Las ubicaciones de los puntos de los que se han tomado los datos se muestran en la Ilustración 29.

⁶⁰ Nuzzolo, A., Comi, A., Ibeas, A., Moura, J.L. Urban freight transport and city logistics policies: Indications from Rome, Barcelona and Santander. *International Journal of Sustainable Transportation*. 2016, 10:6. <https://doi.org/10.1080/15568318.2015.1014778>

⁶¹ <https://www.mitma.gob.es/carreteras/trafico-velocidades-y-accidentes-mapa-estimacion-y-evolucion/mapas-de-trafico/2019>

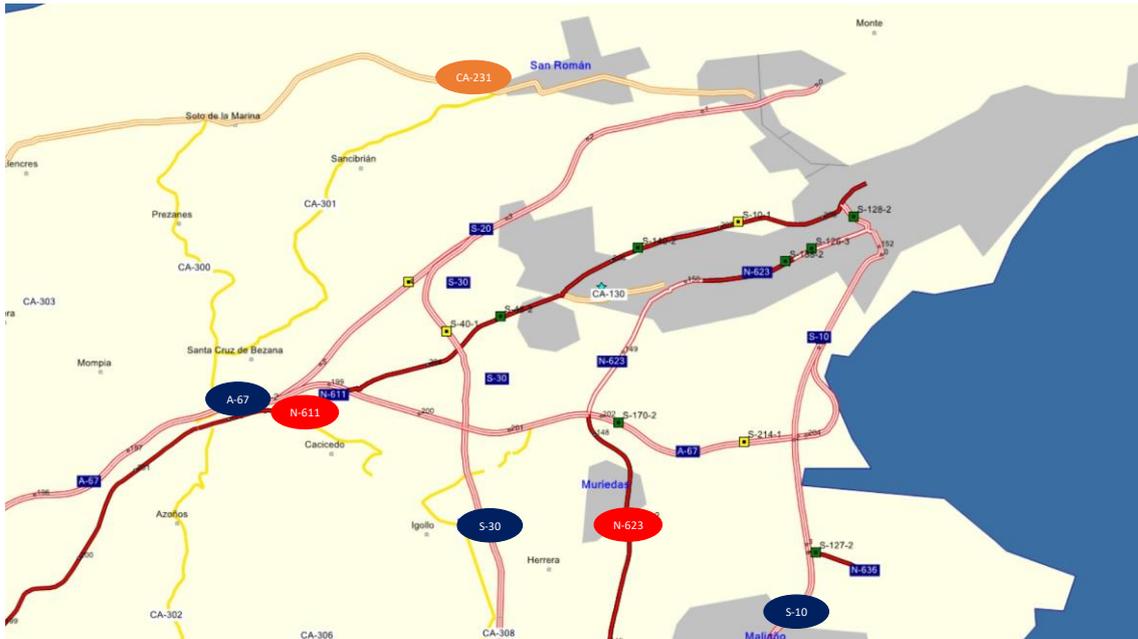


Ilustración 29: Puntos de conteo de los que se han tomado datos para la generación de los envíos. Fuente: elaboración propia hecha a partir del Mapa de Tráfico 2019.

De estos puntos, se han tomado los valores de los vehículos pesados en sentido Santander, haciendo únicamente una modificación para los de la S-30 y la A-67 debido al tráfico que va por ambas como forma de rodear Santander. Concretamente, se ha descontado al valor del tráfico entrante por cada una de ellas, una cuarta parte del tráfico que sale por la otra.

De esta forma, a los 878 vehículos pesados que pasan en dirección Santander por el punto de conteo tomado de la S-30, se ha descontado 480, que es un cuarto de los 1920 vehículos pesados que pasan por el punto de conteo de la A-67 en sentido Torrelavega. Análogamente, a los 2040 vehículos pesados entrantes por la A-67 se ha descontado 337, que es una cuarta parte de los 1350 que van por la S-30 en sentido San Salvador.

Esta operación se ha realizado por la necesidad de tomar puntos de conteo relativamente alejados de Santander para que se correspondan con los puntos de generación del tráfico en el modelo, que quedan también al sur del tramo de la A-67 que queda entre la S-20 y la S-10, y conocido este fenómeno de utilizar la S-30 y la A-67 para no tener que acceder a Santander, que no se ve representado en el modelo por el tráfico de pesados que en él se representa.

Puesto que la Intensidad Media Diaria (IMD) de pesados a través del punto de conteo S-40-1 (en amarillo, sobre la S-30 en la Ilustración 29) es de 435 y la cantidad de vehículos pesados diarios que se está introduciendo a través de la S-30 fruto del cálculo que se acaba de explicar es de 398, se ha considerado una buena aproximación.

Con todo esto, se ha obtenido que los porcentajes del total de pesados que entran a la red del modelo a diario se reparte entre las 6 entradas consideradas tal y como se indica en la Tabla 22.

Entrada	Porcentaje
S-10	2,9%
A-67	28,3%
N-611	3,9%
S-30	6,6%
N-623	5,0%

S-10	53,3%
Total	100%

Tabla 22: Reparto del acceso de camiones a Santander. Fuente: elaboración propia.

Este reparto por entradas a la ciudad se ha aplicado de manera indistinta a todos los tipos de envíos, ante la falta de datos sobre si hay concentraciones particularmente grandes de cierto tipo de envíos en una entrada en comparación con el resto de categorías de mercancía.

Posteriormente, se han añadido al modelo los valores ponderados de los comercios que se han calculado en el apartado “Tipos de envíos a cubrir”. De esta forma, se dispone en el propio modelo de tráfico de la información necesaria para realizar una distribución de la oferta acorde a la demanda por zonas.

Con estas dos inclusiones al modelo (entradas de los camiones y demanda por zona), se ha procedido a aplicar la herramienta de Visum para el cálculo de las entregas a realizar, dando la matriz de entregas correspondiente.

Esta matriz de entregas, por su parte, ha servido como dato de entrada para la herramienta de Visum que diseña las rutas de los camiones por la ciudad, habiendo también considerado la longitud media de una ruta de un vehículo pesado igual a 2,9 entregas, dato obtenido de nuevo de Nuzzolo, Comi, Ibeas y Moura (2016).

El cálculo de la demanda de vehículos pesados por zona se ha realizado al principio de los cálculos del modelo, para así poder hacer una primera asignación de pesados sobre la precarga de la red.

Con esto, se ha añadido al cálculo del modelo un reajuste de la matriz de coches, con el fin de excluir de ésta los vehículos pesados, mediante un procedimiento TFlowFuzzy. Para su cálculo se han descontado los flujos de los vehículos pesados de la precarga de la red que se hace con la matriz original de viajes en coche (que incluye a los pesados). De esta forma, el ajuste de dicha matriz original nos da una buena aproximación de los viajes que realmente se hacen en coche, descontados los vehículos pesados.

Por último, se han añadido los debidos procedimientos de asignación de vehículos pesados y cálculos de sus indicadores junto a los del resto de modos. En la Ilustración 30 se muestra un esquema del proceso de cálculo de este escenario, en la que se indican en azul los añadidos al modelo original SUMLAB.



Ilustración 30: Proceso de cálculo del escenario base. Fuente: elaboración propia.

6.3. Escenarios de las familias 1 y 2

6.3.1. Modificaciones comunes a ambas familias de escenarios

Se han añadido respecto a los escenarios Original y Base 1846 arcos de carril bici que suman 135,47 km. De esta manera, la red modelizada pasa a totalizar 5564 arcos que representan 624,22 km.

Tal y como se ha comentado a la hora de definir las partes integrantes de la solución, la red busca conectar los diferentes barrios de Santander entre sí, además de proporcionar un mallado denso en el centro de la ciudad, donde más desplazamientos se concentrarán y donde tendrá particular incidencia el sistema de bicicletas de carga.

La red resultante se muestra en la Ilustración 31 a nivel general, y en la Ilustración 32 se pone el foco sobre el mallado denso en el centro de la ciudad.

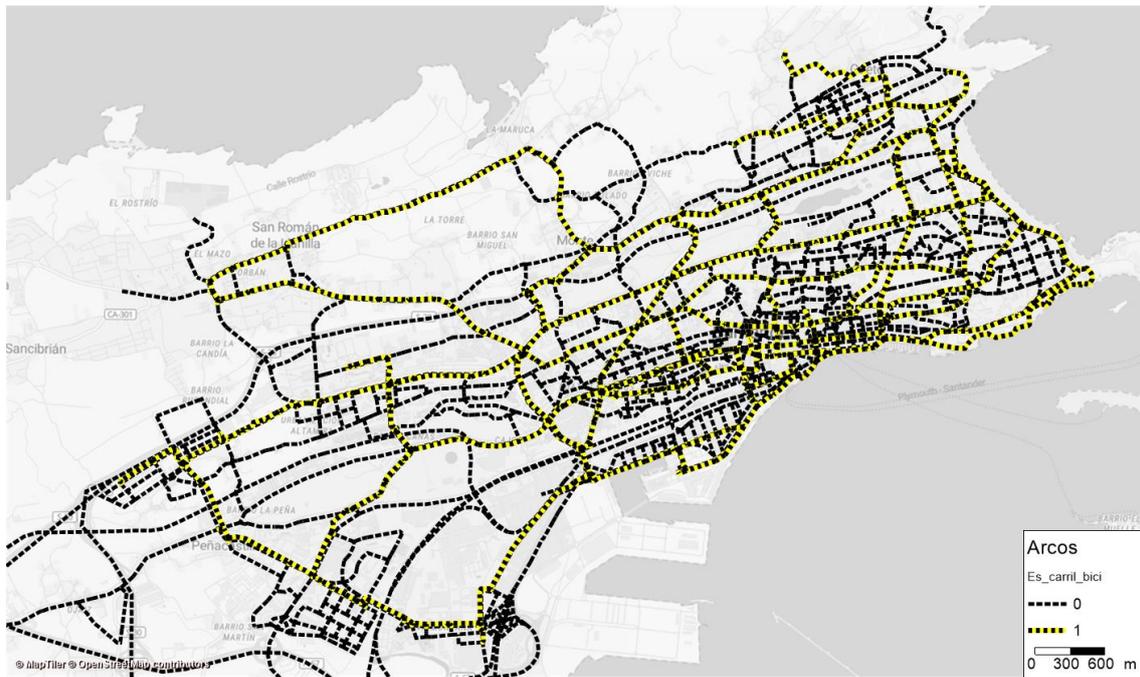


Ilustración 31: Red de carriles bici propuesta, vista general. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 32: Red de carriles bici propuesta, zoom sobre el centro de la ciudad. Fuente: elaboración propia.

También se ha realizado una reducción en la capacidad de algunos de los ejes principales de la ciudad con el fin de hacer menos deseable el uso del coche para los desplazamientos internos. Para ello, se han reducido tanto su número de carriles (por lo general, de dos por sentido a uno) como su velocidad máxima permitida (a 30 km/h). Para reflejar mejor estos cambios, a dichos ejes se les ha introducido una nueva capacidad máxima asociada, lógicamente menor que la anterior.

Estos cambios se han realizado sobre las siguientes calles:

- Paseo de José María Pereda

- Casimiro Sainz
- Castelar
- Avenida Reina Victoria
- Túnel de Tetuán
- Marqués de la Hermida
- Castilla
- Jerónimo Sainz de la Maza
- S-21 (Distribuidor La Marga – La Albericia)
- Avenida de Los Castros
- Conector entre Los Castros y la S-20

También se ha añadido a la red de una Zona de Bajas Emisiones en la que se prohíbe el acceso en coche o vehículo pesado a la misma si no se tiene como origen o destino alguno de sus puntos internos.

Esta ZBE es objeto de modificaciones dentro de cada familia de escenarios. Así, en los escenarios “sin letra” (Escenarios 1 y 2), se aplica esta zona tanto a los coches como a los vehículos pesados. En los escenarios “c” (Escenarios 1c y 2c), no se aplica restricción alguna y, por último, en los escenarios “d” (Escenarios 1d y 2d), se aplica la restricción únicamente a los coches, no a los vehículos pesados.

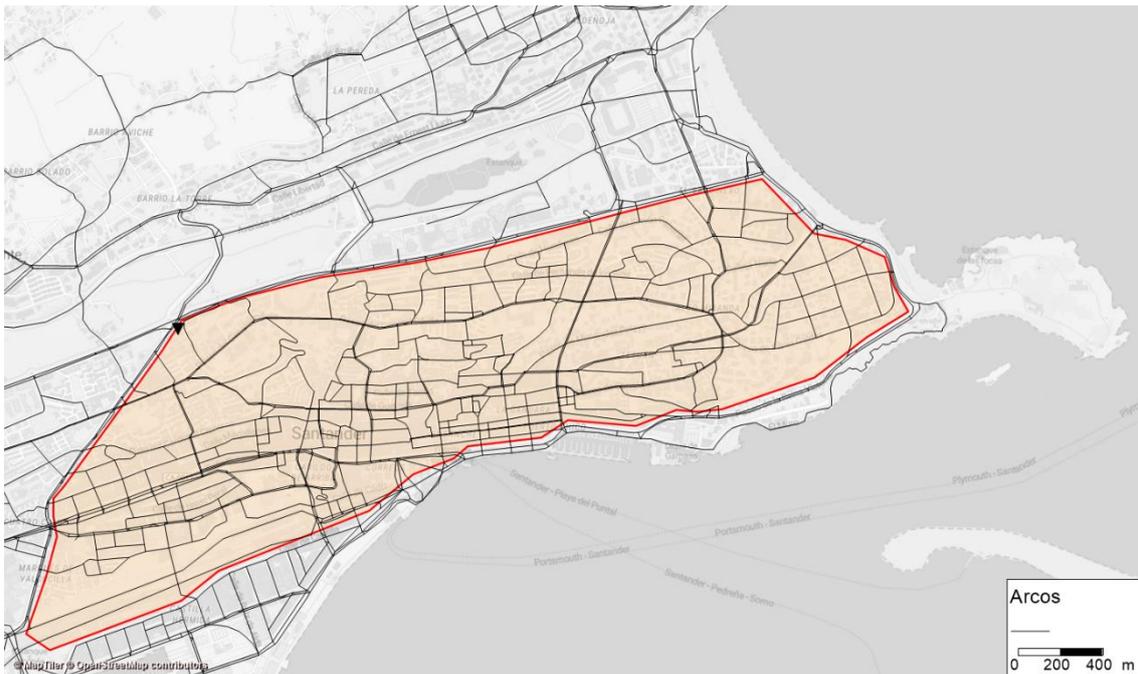


Ilustración 33: Zona de Bajas Emisiones incluida en el modelo. Fuente: elaboración propia.

Junto con la modificación correspondiente a la ZBE, ha sido necesario modificar el criterio de convergencia del modelo, pues el programa dejaba de ser capaz de efectuar su cálculo.

Por último, se ha procedido a implantar el sistema de ciclogística. Para ello no ha sido necesario ningún cambio sobre la red, pero sí ajustes adicionales sobre la demanda y el procedimiento de cálculo del modelo.

En cada familia de escenarios (1 y 2), a las zonas que quedan dentro de la zona objetivo se les ha aplicado una reducción de su demanda de envíos mediante vehículos pesados acorde a los

porcentajes de los envíos a realizar mediante el sistema de ciclogística (los indicados en la Tabla 16). Una vez realizado este cálculo de los envíos a realizar mediante vehículos pesados, se para el cálculo del modelo para hacer un breve cálculo con un fichero Excel de apoyo.

En este archivo Excel se ha obtenido la cantidad de envíos que se deben mandar directamente a Raos, mediante la agregación sobre las casillas correspondientes a la zona de Raos de la diferencia entre las matrices de envíos del Escenario Base y el Escenario en cuestión. Estos envíos son los que después serán embarcados para su posterior reparto mediante bicicletas de carga.

La matriz obtenida se introduce al modelo y se reanuda su cálculo. Sumando los envíos a la ciudad y los que se mandan a Raos, obtenemos una matriz de todos los envíos que se realizarán mediante vehículos pesados.

Esto nos permite calcular los viajes de vehículos pesados y asignarlos sobre la red, haciendo uso del mismo complemento que se utilizó para el cálculo de las rutas de los vehículos de carga. Además, con los datos de los envíos realizados al embarcadero conocemos también la generación de envíos a ser repartidos mediante bicicletas de carga. El cálculo de su atracción se hace de forma muy similar al caso de los vehículos pesados (con la restricción de que solo se hacen a las zonas objetivo), pues quedan limitados por la generación, que es donde se ve reflejada la cantidad total de envíos a realizar.

Hay que destacar que se ha optado por asumir que los envíos que se estarían realizando mediante bicicletas de carga serían más ligeros, si bien tienen un peso total igual a los que se han enviado a ser embarcados en Raos. Para mantener este mismo peso total y poder simular envíos más ligeros, se ha multiplicado el número de envíos a realizar mediante el sistema de ciclogística por el mismo factor por el que se ha dividido el peso medio de dichos envíos, que se ha tomado igual a 10. Así, en lugar de 2 envíos de 100 kg cada uno, se está asumiendo que se repartirían como 20 envíos de 10 kg cada uno.

Con esto, se ha obtenido el total de envíos a ser realizado mediante el sistema de ciclogística por zona. Para el caso de los escenarios “b” (Escenario 1b y Escenario 2b), en los que se estudia la idoneidad de implantar un segundo punto de parada del barco en la Dársena de Maliaño, la cantidad de mercancía depositada en uno u otro lugar se hace de forma automática por el modelo, de tal manera que se optimicen los recorridos de las bicicletas de carga.

Para calcular el número de envíos a realizar por cada viaje en bicicleta de carga, se ha dividido su capacidad, estimada en 250 kg, entre el peso medio de los envíos que realizarán. Así, una bicicleta realizaría 13 envíos por viaje o, lo que es lo mismo, en un viaje sería capaz de atender 1,3 envíos que se realizaban mediante vehículo pesado. Como un viaje en vehículo pesado realiza 2,9 envíos de media, se obtiene que así harían falta 2,23 bicicletas para sustituir un vehículo pesado.

El proceso de cálculo se muestra de forma esquemática en la Ilustración 34.

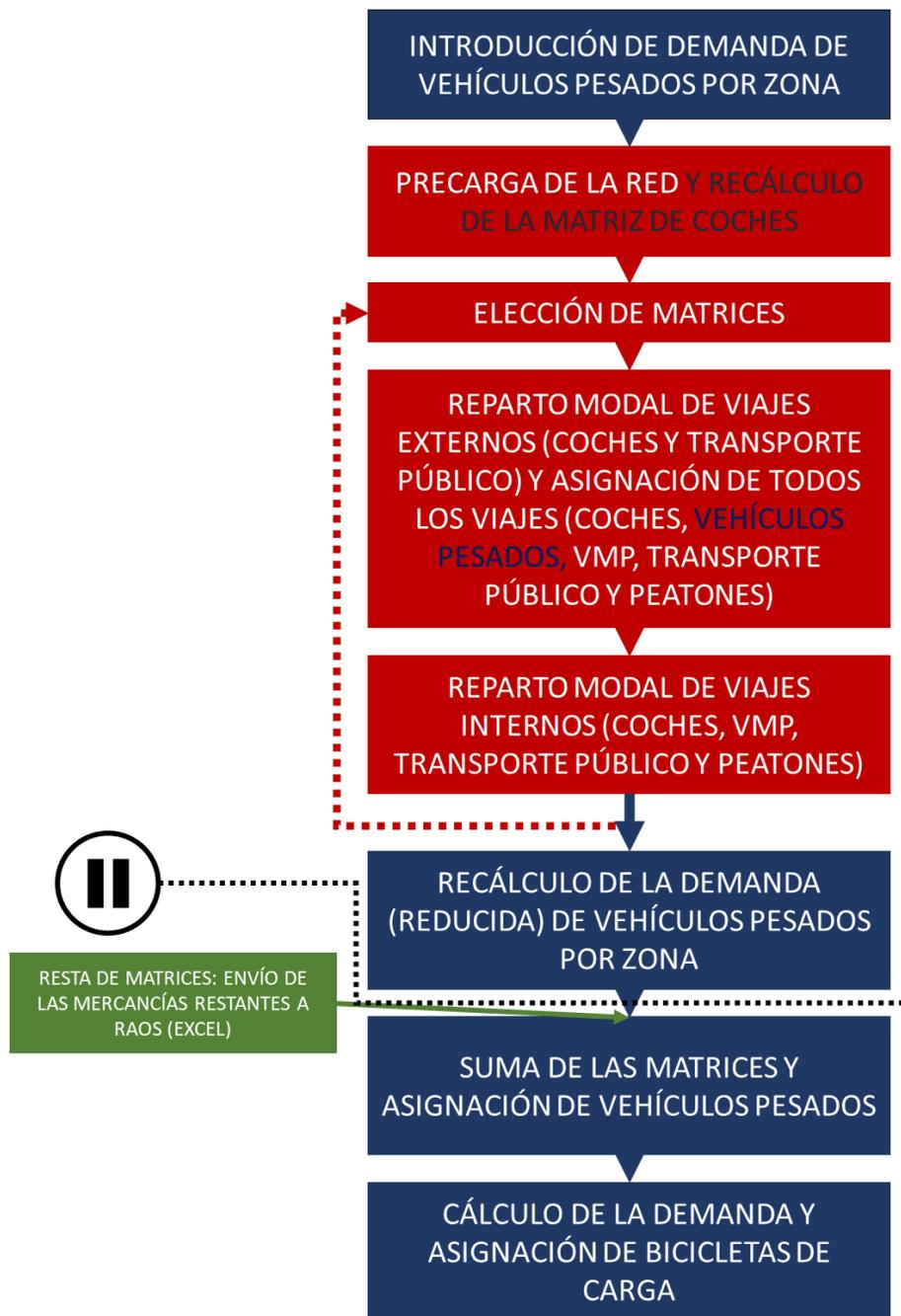


Ilustración 34: Esquema del proceso de cálculo de los escenarios con sistema de ciclogística. Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Familia de escenarios 1

Como se ha indicado en los apartados “Tipos de envíos a cubrir” y “Zonas objetivo”, la familia de escenarios 1 es aquella en la que se cubre mediante el sistema de ciclogística los siguientes envíos dentro de los códigos postales 39002, 39003 y 39009:

- Un 50% de los envíos de la categoría textil.
- Ningún envío de la categoría de alimentación.
- Un 25% de los envíos de la categoría de accesorios de hogar.
- Un 25% de los envíos de la categoría de higiene personal y del hogar.
- Un 50% de los envíos de la categoría de papelería a comercios.

- Un 50% de los envíos de la categoría de papelería a oficinas.
- Un 25% de los envíos restantes (excluidos los materiales de construcción).

Escenario 1

En este escenario se incluye el sistema de ciclogística con el entorno del Centro Botín como único punto de descarga de las mercancías del barco. La Zona de Bajas Emisiones está activa tanto para coches como para vehículos pesados.

Escenario 1b

Al punto de descarga del Centro Botín, se le suma el de la Dársena de Maliaño. La Zona de Bajas Emisiones está activa tanto para coches como para vehículos pesados.

Escenario 1c

Con el entorno del Centro Botín como único punto de descarga, se desactiva la Zona de Bajas Emisiones.

Escenario 1d

Mantiene de nuevo un único punto de descarga de la mercancía en las inmediaciones del Centro Botín. La ZBE está únicamente activa para los coches, no para los vehículos pesados.

6.3.3. Familia de escenarios 2

Como se ha indicado en los apartados “Tipos de envíos a cubrir” y “Zonas objetivo”, la familia de escenarios 1 es aquella en la que se cubre mediante el sistema de ciclogística los siguientes envíos dentro de los códigos postales 39002, 39003 y 39009:

- Un 25% de los envíos de la categoría textil.
- Ningún envío de la categoría de alimentación.
- Ningún envío de la categoría de accesorios de hogar.
- Un 25% de los envíos de la categoría de higiene personal y del hogar.
- Un 25% de los envíos de la categoría de papelería a comercios.
- Un 25% de los envíos de la categoría de papelería a oficinas.
- Ninguno de los envíos restantes (excluidos los materiales de construcción).

Escenario 2

En este escenario se incluye el sistema de ciclogística con el entorno del Centro Botín como único punto de descarga de las mercancías del barco. La Zona de Bajas Emisiones está activa tanto para coches como para vehículos pesados.

Escenario 2b

Al punto de descarga del Centro Botín, se le suma el de la Dársena de Maliaño. La Zona de Bajas Emisiones está activa tanto para coches como para vehículos pesados.

Escenario 2c

Con el entorno del Centro Botín como único punto de descarga, se desactiva la Zona de Bajas Emisiones.

Escenario 2d

Mantiene de nuevo un único punto de descarga de la mercancía en las inmediaciones del Centro Botín. La ZBE está únicamente activa para los coches, no para los vehículos pesados.

6.4. Resumen de los escenarios

En la Tabla 23 se muestran, a modo de resumen, las principales características de los escenarios calculados.

ESCENARIO	SISTEMA DE CICLOGÍSTICA										ZBE	
	ACTIVO	PUNTOS DE PARADA		% DE MERCANCIAS SUSTITUIDAS							ACTIVA PARA COCHES	ACTIVA PARA PESADOS
		Centro Botín	Dársena de Maliaño	Textil	Alimentación	Accesorios del hogar	Higiene	Papelería a Comercios	Papelería a oficinas	Resto		
Escenario Original SUMLAB	NO	NO	NO	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	NO	NO
Escenario Base	NO	NO	NO	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	NO	NO
Escenario 1	SI	SI	NO	50%	0%	25%	25%	50%	50%	25%	SI	SI
Escenario 1b	SI	SI	SI	50%	0%	25%	25%	50%	50%	25%	SI	SI
Escenario 1c	SI	NO	NO	50%	0%	25%	25%	50%	50%	25%	NO	NO
Escenario 1d	SI	SI	NO	50%	0%	25%	25%	50%	50%	25%	SI	NO
Escenario 2	SI	SI	NO	25%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	SI	SI
Escenario 2b	SI	SI	SI	25%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	SI	SI
Escenario 2c	SI	SI	NO	25%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	NO	NO
Escenario 2d	SI	SI	NO	25%	0%	0%	25%	25%	25%	0%	SI	NO

Tabla 23: Resumen de las principales características de los escenarios calculados. Fuente: elaboración propia.

7. Análisis y resultados

Tras haber procedido al cálculo de todos los modelos, se han sacado varios datos con los cuales construir un análisis del comportamiento de las variantes de la propuesta tanto en tráfico, para lo que se hace un análisis detallado, como en materia medioambiental, donde el análisis es más escueto y superficial pues se hace únicamente con el fin de confirmar o desmentir los beneficios de la solución en materia de emisiones nocivas evitadas.

Dado que el modelo debidamente calibrado es el correspondiente al Escenario Original SUMLAB, y que el del Escenario Base es una aproximación al mismo (pero en el que, no obstante, se disocia entre los vehículos a motor ligeros y pesados), se ha optado por que las comparaciones hechas a nivel genérico se hagan respecto al Escenario Base y, aquellas hechas para el flujo de tráfico en puntos concretos, se hagan respecto al Escenario Original SUMLAB.

7.1. Resultados del modelo de tráfico

Se ha tomado una serie de indicadores para comprobar la efectividad en materia de tráfico de las medidas propuestas, que se presentan a continuación.

7.1.1. Tiempos de viaje entre zonas

Se han tomado los valores de tiempos de viaje entre varias zonas de la ciudad, tanto para coches como para vehículos de movilidad personal, con el fin de ver cómo mejora la competitividad de la bicicleta frente al vehículo privado.

Las zonas entre las que se han calculado estos tiempos de viaje han buscado representar varias zonas de la ciudad y son:

- Jardines de Pereda (Zona 2 del modelo)
- San Fernando (Zona 12 del modelo)
- Calle Castilla (Zona 26 del modelo)
- Nueva Montaña (Zona 70 del modelo)
- El Alisal (Zona 71 del modelo)
- Universidad (Zona 80 del modelo)

Los tiempos de viaje en coche del escenario base se indican en minutos en la Tabla 24. En la Tabla 25, se muestra el aumento en tiempos de viaje entre los escenarios Base y 1 y, en la Tabla 26, el aumento en tiempos de viaje entre los escenarios Base y 2.

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0	3,876724	6,423482	11,462165	8,991103	4,519119
San Fernando	3,555104	0	6,801113	7,956352	5,338004	4,31426
Calle Castilla	5,669741	6,872586	0	9,799442	10,725327	8,113124
Nueva Montaña	10,454518	8,455936	9,486074	0	7,418071	11,869625
El Alisal	8,587641	5,32603	9,574804	8,175518	0	7,251156
Universidad	4,74074	5,440974	8,644007	12,264028	7,737262	0

Tabla 24: Tiempos de viaje en coche en el escenario base. Fuente: elaboración propia.

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0%	4%	69%	54%	8%	38%
San Fernando	7%	0%	71%	73%	10%	14%
Calle Castilla	49%	45%	0%	48%	123%	62%
Nueva Montaña	64%	57%	66%	0%	31%	45%
El Alisal	12%	7%	166%	22%	0%	16%
Universidad	26%	19%	69%	50%	17%	0%

Tabla 25: Aumento en tiempos de viaje en coche en el escenario 1. Fuente: elaboración propia.

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0%	3%	40%	35%	7%	27%
San Fernando	6%	0%	41%	42%	9%	12%
Calle Castilla	33%	31%	0%	32%	55%	38%
Nueva Montaña	39%	36%	40%	0%	24%	31%
El Alisal	11%	7%	62%	18%	0%	14%
Universidad	20%	16%	40%	33%	15%	0%

Tabla 26: Aumento en tiempos de viaje en coche en el escenario 2. Fuente: elaboración propia.

Como se constata viendo las tablas, hay un importante aumento de los tiempos de viaje en coche, cosa que se busca compensar con una reducción en los tiempos de viaje en bicicleta y otros vehículos de movilidad personal.

Análogamente al caso de los coches, se adjuntan a continuación los tiempos de viaje mediante VMP en el escenario Base (Tabla 27), los aumentos en el escenario 1 respecto al Base (Tabla 28).

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0	10,532734	13,914468	25,517771	23,458522	14,909267
San Fernando	11,69033	0	13,896213	17,464618	15,642528	16,414392
Calle Castilla	12,990683	13,79944	0	20,759886	22,424796	20,587334
Nueva Montaña	26,089561	19,49879	20,703873	0	17,227735	31,353538
El Alisal	23,905551	15,08921	21,868507	16,69274	0	24,629366

Universidad	13,277387	16,365755	19,701504	30,222535	24,400075	0
--------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	---

Tabla 27: Tiempos de viaje en VMP en el escenario base. Fuente: elaboración propia.

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0%	-3%	-2%	2%	1%	-11%
San Fernando	-9%	0%	4%	3%	2%	-1%
Calle Castilla	3%	1%	0%	-1%	1%	-2%
Nueva Montaña	-1%	-3%	2%	0%	3%	-3%
El Alisal	0%	2%	7%	-3%	0%	0%
Universidad	-3%	-7%	1%	2%	-2%	0%

Tabla 28: Aumento en tiempos de viaje en VMP en el escenario 1. Fuente: elaboración propia.

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0%	-3%	-2%	2%	1%	-12%
San Fernando	-9%	0%	4%	3%	2%	-1%
Calle Castilla	3%	1%	0%	-1%	1%	-2%
Nueva Montaña	-1%	-4%	2%	0%	3%	-3%
El Alisal	0%	2%	7%	-3%	0%	0%
Universidad	-3%	-7%	1%	2%	-2%	0%

Tabla 29: Aumento en tiempos de viaje en VMP en el escenario 2. Fuente: elaboración propia.

Si bien nos encontramos a nivel global un leve descenso de los tiempos de viaje, también hay casos de ligeros aumentos aun a pesar de la mejora que debería suponer la red de carriles bici con mejores condiciones que los actuales.

En la Tabla 30 se muestran las diferencias en los tiempos de viaje en VMP respecto a los hechos en coche para el Escenario Base. Como se puede ver, no hay casos en los que se tarde menos del doble de tiempo en VMP frente al coche, con varios casos de viajes para los que se tarda más del triple.

No obstante, tal y como vemos en la Tabla 31, pasamos a solamente encontrar un caso de tiempos de viaje en bicicleta que lleguen a ser 3 veces superiores a los hechos en coche (todos los valores son inferiores al 200% salvo uno), con varios casos en los que ni tan siquiera se tarda el doble. Bien es cierto también que esto se debe, esencialmente, a la pérdida de competitividad del coche y no al aumento de competitividad de los VMP.

Los valores correspondientes al Escenario 2 se muestran en la Tabla 32. En este caso, se repite la situación de no tener tiempos de viaje en VMP tres veces superiores a los de coche.

En estas tres tablas se han coloreado en granate los viajes en los que se tarda más de tres veces en VMP que en coche, en rojo aquellos en los que se tarda más del doble del tiempo, en naranja aquellos en los que se tarda más pero menos del doble, y en verde aquellos para los que se tarda menos.

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0%	172%	117%	123%	161%	230%
San Fernando	229%	0%	104%	120%	193%	280%
Calle Castilla	129%	101%	0%	112%	109%	154%
Nueva Montaña	150%	131%	118%	0%	132%	164%
El Alisal	178%	183%	128%	104%	0%	240%
Universidad	180%	201%	128%	146%	215%	0%

Tabla 30: Diferencias relativas entre los tiempos de viaje entre zonas en VMP respecto al coche, Escenario Base. Fuente: elaboración propia.

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0%	155%	26%	48%	144%	113%
San Fernando	182%	0%	25%	31%	172%	230%
Calle Castilla	58%	40%	0%	42%	-5%	54%
Nueva Montaña	50%	43%	34%	0%	83%	76%
El Alisal	149%	169%	-8%	62%	0%	194%
Universidad	118%	135%	37%	67%	162%	0%

Tabla 31: Diferencias relativas entre los tiempos de viaje entre zonas en VMP respecto al coche, Escenario 1. Fuente: elaboración propia.

ZONA	Centro Botín	San Fernando	Calle Castilla	Nueva Montaña	El Alisal	Universidad
Centro Botín	0%	154%	26%	47%	144%	113%
San Fernando	182%	0%	25%	31%	172%	230%
Calle Castilla	58%	40%	0%	41%	-5%	53%

Nueva Montaña	51%	42%	34%	0%	83%	76%
El Alisal	149%	169%	-8%	62%	0%	194%
Universidad	118%	135%	37%	67%	162%	0%

Tabla 32: Diferencias relativas entre los tiempos de viaje entre zonas en VMP respecto al coche, Escenario 2. Fuente: elaboración propia.

7.1.2. Tiempo total transcurrido en la red

Hay ligeros aumentos en el tiempo total transcurrido por los vehículos y peatones en la red, del orden de un 5% para los escenarios de las familias 1 y 2 en comparación con el Escenario Base, tal y como se muestra en la Ilustración 35.

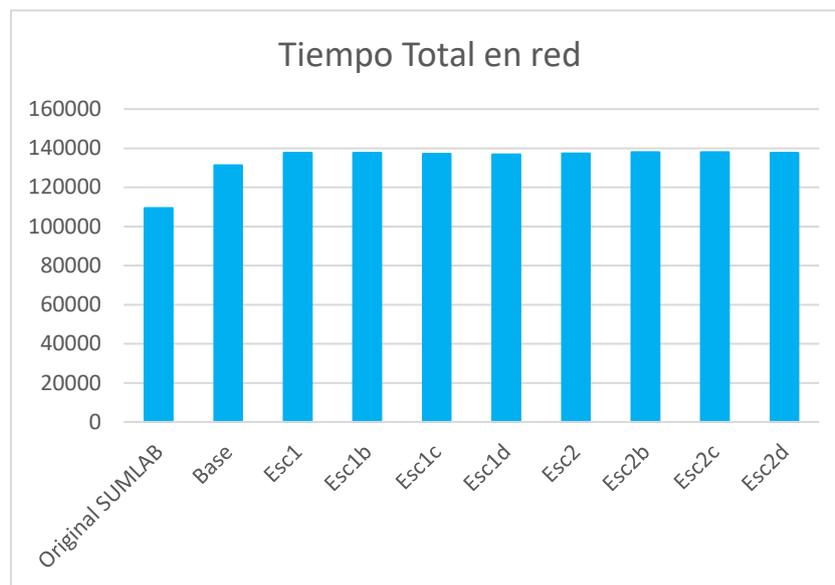


Ilustración 35: Tiempo total transcurrido en la red por la suma de todos los vehículos y peatones. Fuente: elaboración propia.

Este aumento en el tiempo total en la red viene, en su mayoría, causado por la menor velocidad media de los vehículos a motor. Éstos, además de componer el grueso de dicho valor (en torno al 60%), muestran un aumento en el mismo rango que el caso global, como puede verse en la Ilustración 36.

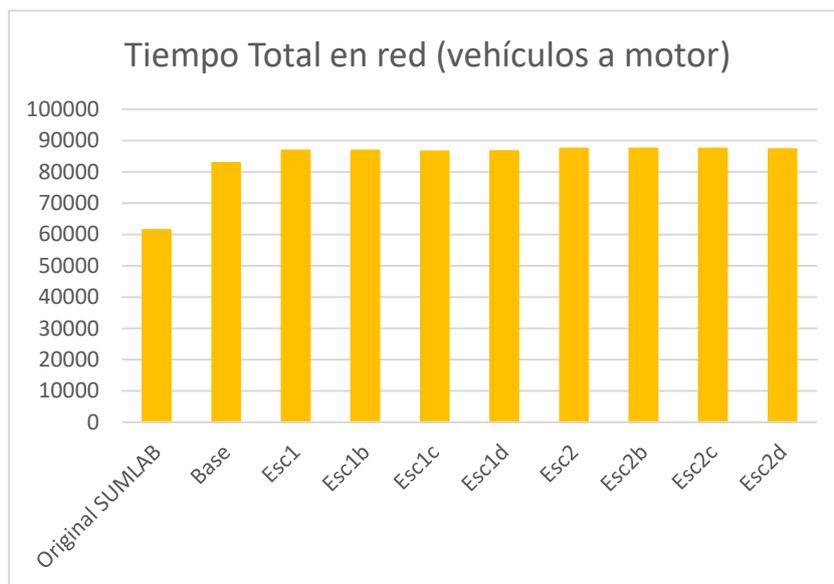


Ilustración 36: Tiempo total transcurrido en la red por la suma de todos los vehículos a motor. Fuente: elaboración propia.

El aumento en tiempos totales en movilidad activa está ligeramente por debajo, en torno al 3 o 4 % respecto al Escenario Base, dependiendo del escenario. Como se puede apreciar también en la Ilustración 37, los valores en las familias de escenarios 1 y 2 son muy homogéneos, al igual que sucedía con los vehículos a motor y con el agregado de ambas categorías.

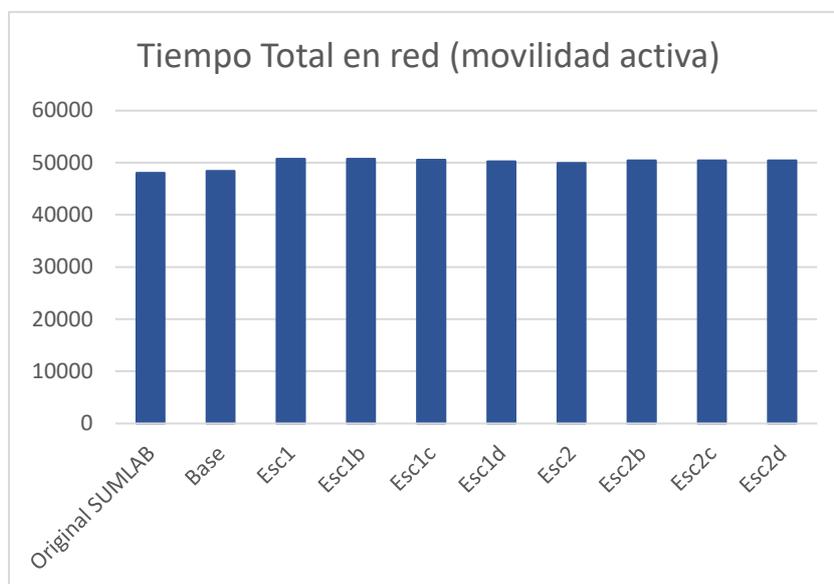


Ilustración 37: Tiempo total transcurrido en la red por la suma de todos los vehículos y peatones correspondientes a los modos de movilidad activa. Fuente: elaboración propia.

Aumento debido al cambio en el reparto modal, pero modulado por las mayores velocidades medias de las bicicletas (VMP + CargoBikes)

7.1.3. Vehículos-km totales

Se ha calculado el número total de vehículos – kilómetro como forma de comprobar a nivel general la efectividad de las propuestas modelizadas.

Así, si para el caso de los coches no encontramos ningún descenso en los vehículos – kilómetro totales recorridos mediante vehículos a motor (de hecho se constata un ligero aumento del 1% en los escenarios de las familias 1 y 2 respecto al Escenario Base, ver Ilustración 38), vemos que para los vehículos pesados estaríamos obteniendo valores del entorno del 10% en el Escenario 1, y de un 8% en el Escenario 2 (Ilustración 40).

No obstante, al realizar comparaciones dentro de la misma familia de escenario, se ve también que la implantación de la Zona de Bajas Emisiones para los vehículos pesados hace que éstos tengan que aumentar sus recorridos.

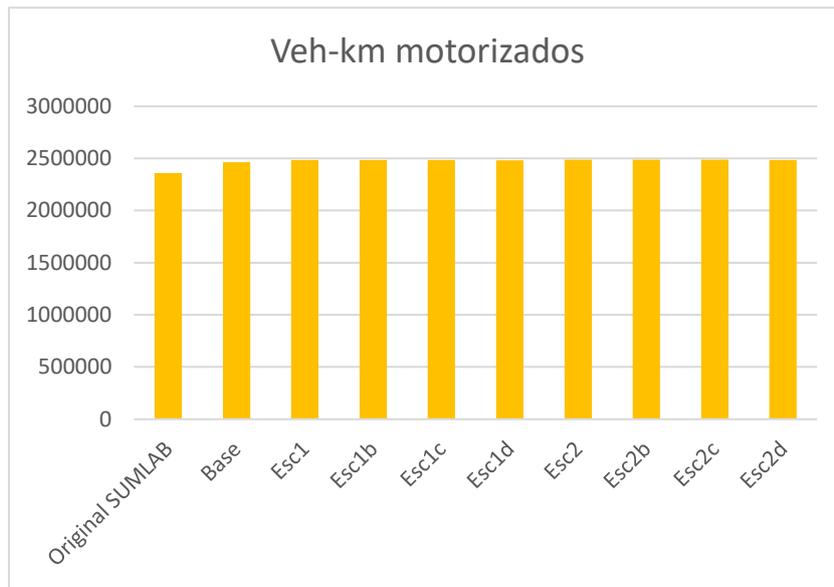


Ilustración 38: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante vehículo privado motorizado. Fuente: elaboración propia.

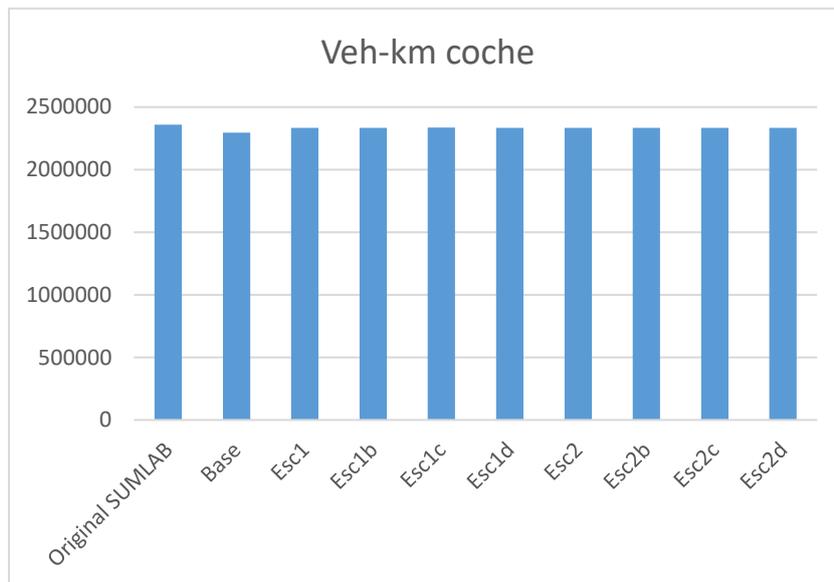


Ilustración 39: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante coche. Para el Escenario Original Sumlab, este dato incluye también los pesados. Fuente: elaboración propia.

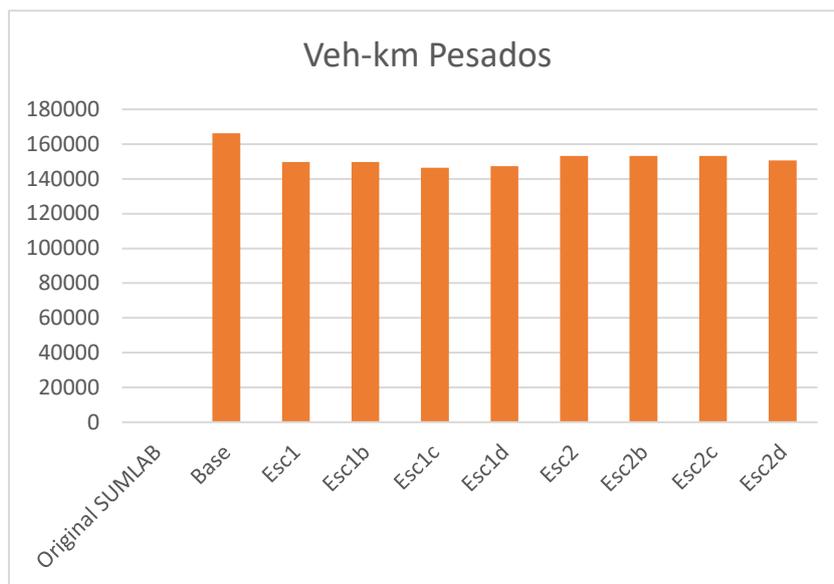


Ilustración 40: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante vehículo pesado. Fuente: elaboración propia.

Tal y como se ve en la Ilustración 41, se encuentran importantes subidas en el uso de vehículos de movilidad personal para todos los escenarios hipotéticos planteados (todos los de las familias de escenarios 1 y 2). El aumento en vehículos – kilómetro es del orden de un 75% a nivel general, salvo para el Escenario 1C (sin ZBE), donde apenas supera un 50%.

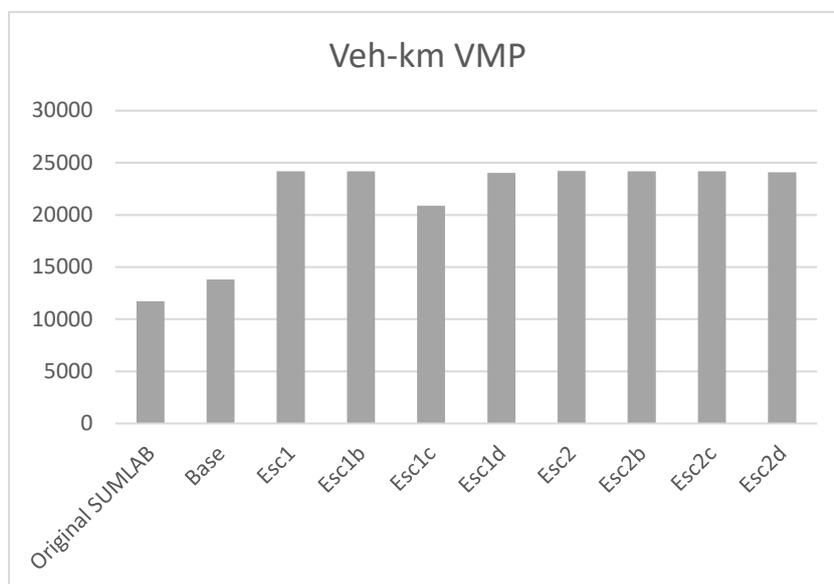


Ilustración 41: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante vehículo de movilidad personal. Fuente: elaboración propia.

Los trayectos recorridos a pie, cuyos valores totales se muestran en la Ilustración 42, experimentan un leve repunte de entre el 2 y el 3,5 %, dependiendo del escenario.



Ilustración 42: Kilómetros totales recorridos en total en la red a pie. Fuente: elaboración propia.

El uso de bicicletas de carga, mostrado en la Ilustración 43, es más del doble para los casos de la familia de escenarios 1, en comparación con la familia de escenarios 2.

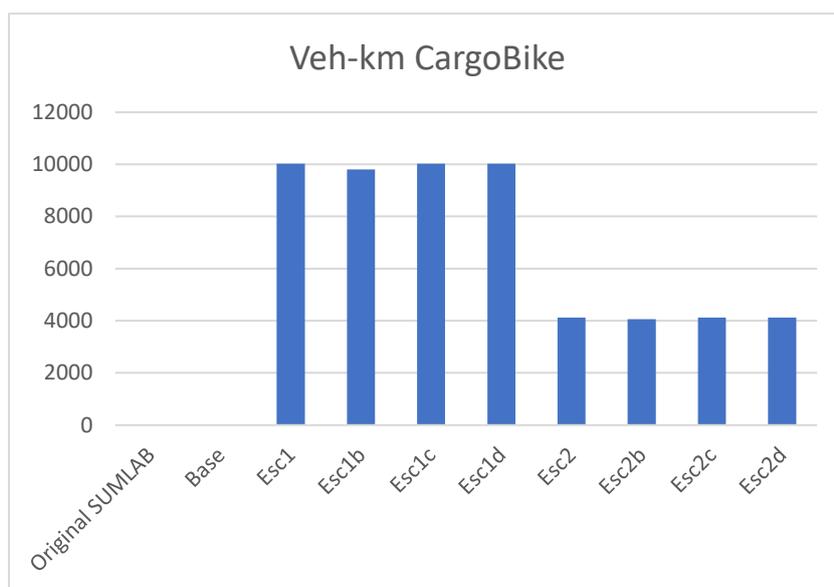


Ilustración 43: Vehículos - kilómetro recorridos en total en la red mediante bicicleta de carga. Fuente: elaboración propia.

A nivel general, los kilómetros totales recorridos mediante alguno de los modos de movilidad activa suben entre un 10 y un 13 % respecto al Escenario Base. Esto se muestra en la Ilustración 44.

Viendo este aumento en los kilómetros recorridos por estos modos, y remitiéndonos a la Ilustración 37 en la que se mostraba el tiempo total transcurrido en la red por este mismo grupo de modos de transporte, se ve que al ser el aumento de kilómetros superior al del tiempo, éstos presentan un aumento en su velocidad media, precisamente el efecto buscado mediante la extensión de la red de carriles bici propuesta.

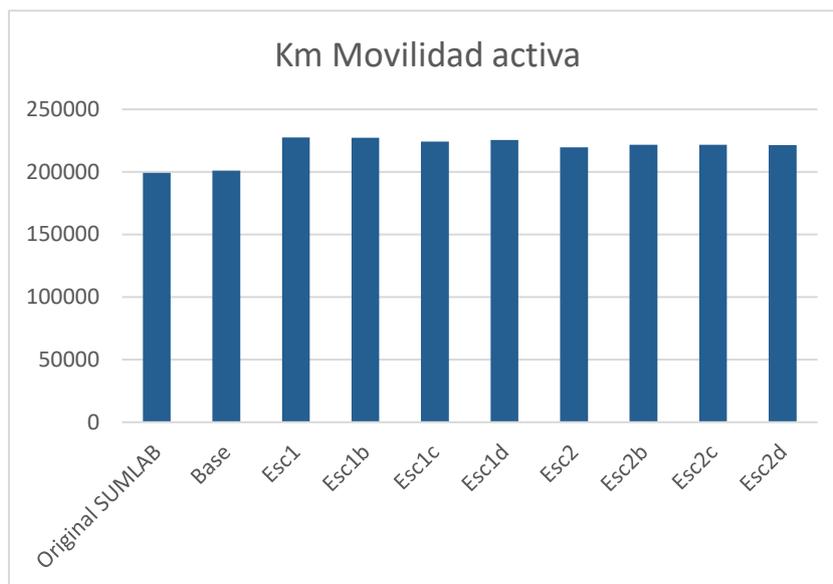


Ilustración 44: Kilómetros totales recorridos en total en la red en alguno de los modos de movilidad activa contemplados (km a pie + veh-km en VMP + veh-km en bicicleta de carga). Fuente: elaboración propia.

7.1.4. Reducción de tráfico en ejes seleccionados

Se muestran, a través de la Ilustración 45 y de la Ilustración 46, la reducción o aumento de tráfico en ejes achacables a la combinación de la ZBE y del sistema de ciclogística y al “efecto frontera” de la ZBE, respectivamente.

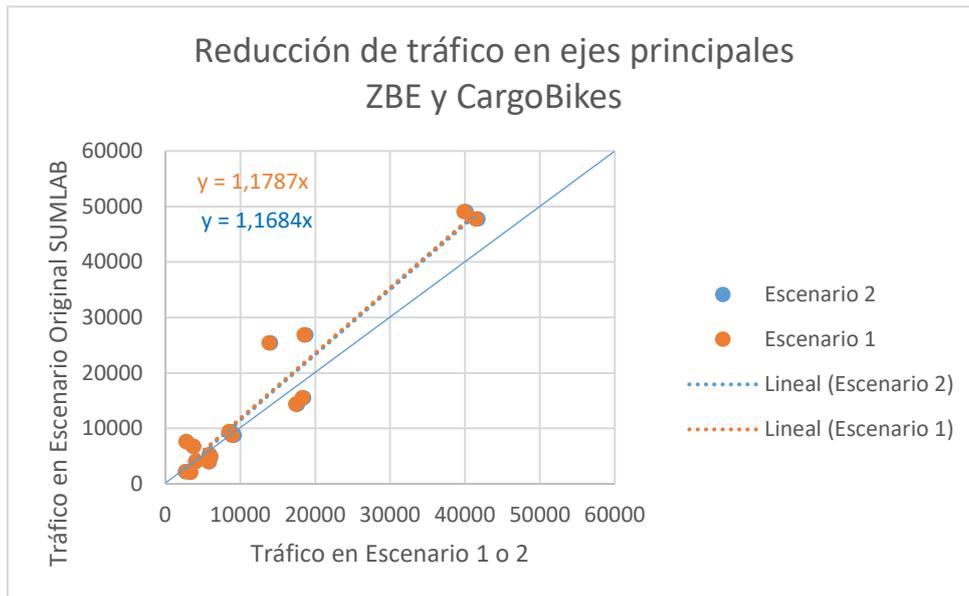
Para comprobar la reducción del tráfico debida a la ZBE y al sistema de ciclogística, se han tomado valores de tráfico en ambos sentidos (para los casos en los que aplica) en los siguientes ejes:

- Avenida de Parayas, por ser vía de acceso y salida de los vehículos pesados a la zona objetivo del sistema de ciclogística.
- Calle Castilla, por ser vía de salida desde la zona objetivo.
- Calle Marqués de la Hermida, por ser vía de acceso a la zona objetivo.
- Calle San Fernando, por estar dentro de la ZBE.
- Calle Calvo Sotelo, por estar dentro de la ZBE.
- Túnel de Puertochico, por estar dentro de la ZBE.
- Calle Alta, por estar dentro de la ZBE.
- Paseo del General Dávila, por estar dentro de la ZBE.
- Paseo de Menéndez Pelayo, por estar dentro de la ZBE.

Se ha obtenido que la mayoría de las mediciones muestran reducciones en tráfico (los puntos que en la Ilustración 45 quedan por encima de la línea diagonal continua), además de que los 4 puntos entre los medidos con más tráfico en el Escenario Base son los que quedan más por encima de esta línea.

En el gráfico, se han obtenido también las regresiones lineales asociadas a cada uno de los dos escenarios cuyos datos han sido incluidos (1 y 2). Su intercepción se ha forzado al origen y, así, su pendiente nos indica si se ha reducido el tráfico a nivel general (pendiente superior a 1), o si por el contrario se hubiera aumentado (si hubiera una pendiente inferior a 1).

De los valores de las pendientes de las regresiones, inferimos también que se ve una reducción ligeramente superior en el Escenario 1, en el que el planteamiento del sistema de ciclogística es más ambicioso, que en el Escenario 2.



*Ilustración 45: Comparación entre los flujos de tráfico en los Escenarios 1 y 2 (eje vertical) frente a los del Escenario Base, para una serie de ejes seleccionados con el fin de medir la eficacia del sistema de ciclogística y de la ZBE.
Fuente: elaboración propia.*

El mismo análisis se ha llevado a cabo para comprobar si la Zona de Bajas Emisiones estaría generando un “efecto frontera” de aumento de tráfico en los ejes que conforman su perímetro por tener éste que rodearla en lugar de atravesarla.

El velar por evitar este efecto es algo sobre lo que se hace particular énfasis en el texto del BOE que incluye el Real Decreto por el que se regulan estas Zonas de Bajas Emisiones, por lo que se ha considerado de especial relevancia.

Los ejes considerados para este análisis son:

- S-21 (conector La Marga – La Albericia), por ser un importante eje para la basculación norte – sur del tráfico en Santander por fuera de la ZBE propuesta.
- Calle Marqués de la Hermida, por ser la vía principal de acceso al perímetro por el sur de la ZBE, toda vez que la entrada por san Fernando sería imposible si no se tiene la ZBE como destino.
- Calle Castilla, por ser la vía principal de salida desde el perímetro por el sur de la ZBE, toda vez que la salida por san Fernando sería imposible si no se tiene la ZBE como origen.
- Paseo de Pereda, por ser vía perimetral de la ZBE.
- Avenida de Los Castros, por ser vía perimetral de la ZBE.
- Calle Camilo Alonso Vega, por ser vía perimetral de la ZBE.
- Calle Jerónimo Sainz de la Maza, por ser vía perimetral de la ZBE.

De nuevo, se han constatado reducciones de tráfico (y, otra vez, más importantes cuanto mayor fuera el tráfico en el Escenario Base), por lo que se verifica que no se daría este efecto.

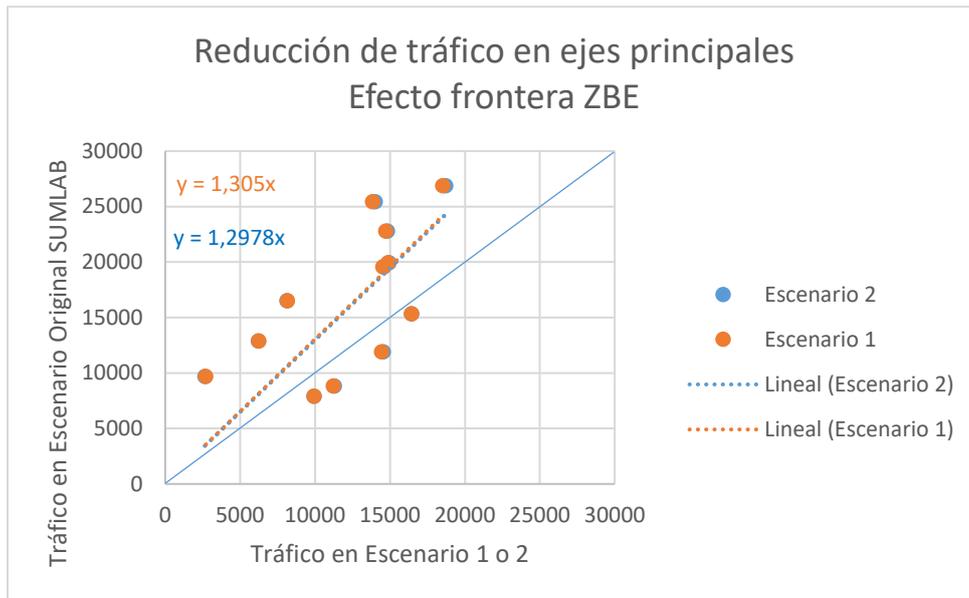


Ilustración 46: Comparación entre los flujos de tráfico en los Escenarios 1 y 2 (eje vertical) frente a los del Escenario Base, para una serie de ejes seleccionados con el fin de medir el posible efecto frontera de la ZBE. Fuente: elaboración propia.

7.1.5. Viajes de vehículos pesados evitados y flotas de bicicletas de carga necesarias

Se ha asumido que cada ruta de bicicletas de carga tiene una duración máxima de media hora. Este valor se debe a que se ha tomado un valor redondo a partir de la estimación de que una bicicleta de carga se pasaría la mitad del tiempo parada realizando una entrega y la otra mitad en marcha, a una velocidad media cercana a los 15 km/h que da el modelo para tanto los VMP como las bicicletas de carga.

Como la ruta más larga posible sería de 4 km (desde el Centro Botín a la confluencia entre las calles Castilla y Marqués de la Hermida y vuelta, habiendo suficiente demanda no habría rutas que lleguen a ambos extremos de la zona objetivo), su recorrido a 16 km/h llevaría 15 minutos, con otros 15 de recogidas y entregas de mercancía. Se ha considerado este valor para proporcionar números cautelosos y no demasiado optimistas.

Así, se ha estimado que, al número total de rutas que resultan de cada modelo, habrá que aplicarle un cociente de 16, para representar así el número de bicicletas (y sus conductores) necesarias asumiendo 8 horas de trabajo, a una media 2 rutas por hora.

Según lo obtenido en el Escenario Base, en Santander se realizan 7883 rutas de entrega de mercancía mediante vehículo pesado. El Escenario 1, el más ambicioso de los dos calculados, reduciría este dato en un 6% hasta las 7413 rutas, para lo cual se necesitarían 1479 rutas en bicicleta de carga o, lo que es lo mismo, una flota de 93 de ellas con sus respectivos conductores, asumiendo un único turno de trabajo.

El Escenario 2, menos ambicioso, supondría una reducción de un 2,7 % de las rutas de vehículos pesados, siendo éstas sustituidas por una flota de 30 bicicletas de carga y sus respectivos conductores, de nuevo asumiendo un turno de 8 horas por día.

7.2. Otros parámetros

Además de las emisiones evitadas y el ahorro de combustible logrado (de los que se habla en las subsecciones que siguen), hay mejoras cualitativas (y quizá cuantificables en lo económico,



Ilustración 48: Entorno del Ayuntamiento, Mercado de la Esperanza, Cabildo de Arriba y Jesús de Monasterio para el que se han realizado comparaciones entre emisiones en las situaciones actual y futuras. Fuente: elaboración propia sobre base de Openstreetmap.

- Las calles interiores entre Castilla y Marqués de la Hermida (y Antonio López), zona mostrada en la Ilustración 49, al que nos referiremos como “Zona 3”.



Ilustración 49: Entorno de las calles interiores entre Castilla y Marqués de la Hermida para el que se han realizado comparaciones entre emisiones en las situaciones actual y futuras. Fuente: elaboración propia sobre base de Openstreetmap.

El consumo de combustible se ha calculado a partir de lo indicado en las Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio de estudios y proyectos de carreteras, realizada por el servicio de planeamiento de carreteras del Ministerio de Obras Públicas (hoy MITMA) en 1990 y actualizada en 2011⁶².

El cálculo de las emisiones se ha realizado siguiendo las indicaciones del “tier 1” de la sección 1.A.3.b del EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook de la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA – European Environment Agency)⁶³. Las metodologías indicadas por esta guía son las utilizadas en el software de cálculo de emisiones Copert 5.6, de uso extendido en toda Europa.

De los valores que se pueden obtener mediante este procedimiento, se han seleccionado los que corresponden con las mediciones analizadas al hablar de la calidad del aire en la ciudad: PM (de forma agregada), NO_x (que abarca más partículas que solamente el NO₂) y SO₂. Al no haber, en este procedimiento de cálculo forma de obtener las emisiones de Ozono, no se analizan.

Así, vemos en la Tabla 33 que hay descensos en las partículas finas emitidas del orden de un 2 a un 3 %, dependiendo del escenario, respecto al escenario base. Para el caso de los óxidos del

⁶²Servicio de planeamiento de carreteras del Ministerio de Obras Públicas (hoy Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana). Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio de estudios y proyectos de carreteras. 1990 – 2011. Disponible en: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0410901.pdf

⁶³Ntziachristos, L., Samaras, Z. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2020. 1.A.3.b.i, 1.A.3.b.ii, 1.A.3.b.iii, 1.A.3.b.iv. Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles. 2020. Esta parte está disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>. La lista de partes del documento completo (y su acceso a ellas) está disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019#additional-files>

nitrógeno, nos encontramos con descensos mucho más ligeros, que en la mayoría de casos no llegan ni al 1 %, o pueden llegar a ser prácticamente nulos. Algo similar, pero con aumentos en sus emisiones, sucede con el SO₂, compuesto para el que suceden ligeros crecimientos respecto al Escenario Base.

Escenario	PM (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (g)
Escenario Base (valor)	2592	123	1158
Escenario 1 (diferencia)	-3,01%	-0,75%	0,30%
Escenario 1b (diferencia)	-3,00%	-0,74%	0,31%
Escenario 1c (diferencia)	-3,53%	-0,94%	0,26%
Escenario 1d (diferencia)	-3,63%	-1,12%	0,04%
Escenario 2 (diferencia)	-2,00%	-0,13%	0,74%
Escenario 2b (diferencia)	-1,98%	-0,10%	0,77%
Escenario 2c (diferencia)	-1,96%	-0,10%	0,77%
Escenario 2d (diferencia)	-2,60%	-0,48%	0,51%

Tabla 33: Valores del Escenario Base y diferencias entre cada escenario y el Escenario Base para algunos de los contaminantes medidos, en el total de la red modelizada. Fuente: elaboración propia.

Particularizando para las 3 pequeñas zonas consideradas, nos encontramos valores localmente mejores, tal y como vemos en la Tabla 34 (zona 1), la Tabla 35 (zona 2) y la Tabla 36 (zona 3).

Para la Zona 1 encontramos descensos bastante heterogéneos en los tres tipos de emisiones estudiadas, llegando incluso a haber un aumento de un 4,4% en las de SO₂ para el caso del Escenario 2b (dos puntos de parada del barco).

Escenario	PM (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (g)
Escenario Base (valor)	2,77	0,1	0,82
Escenario 1 (diferencia)	-12,16%	-5,01%	0,05%
Escenario 1b (diferencia)	-9,27%	-2,77%	1,82%
Escenario 1c (diferencia)	-25,73%	-16,79%	-10,47%
Escenario 1d (diferencia)	-21,20%	-12,55%	-6,43%
Escenario 2 (diferencia)	-7,24%	-1,39%	2,74%
Escenario 2b (diferencia)	-5,03%	0,49%	4,39%
Escenario 2c (diferencia)	-6,19%	-0,41%	3,68%
Escenario 2d (diferencia)	-14,38%	-7,16%	-2,07%

Tabla 34: Valores del Escenario Base y diferencias entre cada escenario y el Escenario Base para algunos de los contaminantes medidos, en la denominada como "Zona 1". Fuente: elaboración propia.

Si bien la Zona 2 presenta valores más modulados, aquí se diferencian más claramente las dos familias de escenarios: mientras que los escenarios tipo 1 muestran descensos de hasta un 11 % para las PM, un 9 % para los NO_x y de un 8% para el SO₂, estos descensos son aproximadamente un tercio más débiles para los escenarios tipo 2.

Escenario	PM (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (g)
Escenario Base (valor)	25,24	1,08	9,68
Escenario 1 (diferencia)	-11,36%	-9,50%	-8,49%
Escenario 1b (diferencia)	-11,20%	-9,39%	-8,41%
Escenario 1c (diferencia)	-1,79%	0,83%	2,25%
Escenario 1d (diferencia)	-6,12%	-6,13%	-6,13%
Escenario 2 (diferencia)	-6,62%	-6,33%	-6,18%
Escenario 2b (diferencia)	-6,41%	-6,14%	-6,00%
Escenario 2c (diferencia)	-6,33%	-6,09%	-5,96%

Escenario 2d (diferencia)	-0,47%	-2,37%	-3,39%
---------------------------	--------	--------	--------

Tabla 35: Valores del Escenario Base y diferencias entre cada escenario y el Escenario Base para algunos de los contaminantes medidos, en la denominada como "Zona 2". Fuente: elaboración propia.

Para la zona 3, de nuevo se constatan dos grandes grupos de datos de descensos asociados a sus respectivos tipos de escenario. En este caso, que los escenarios tipo 1 muestran descensos de un 14 % para las PM, un 9 % para los NO_x y de un 6% para el SO₂, mientras que los escenarios tipo 2 se quedan con un descenso del orden de dos puntos porcentuales más suave a nivel general.

Escenario	PM (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (g)
Escenario Base (valor)	15,53	0,66	5,91
Escenario 1 (diferencia)	-14,29%	-9,09%	-6,25%
Escenario 1b (diferencia)	-14,31%	-9,10%	-6,26%
Escenario 1c (diferencia)	-9,97%	-3,32%	0,30%
Escenario 1d (diferencia)	-14,38%	-9,14%	-6,28%
Escenario 2 (diferencia)	-11,46%	-7,21%	-4,89%
Escenario 2b (diferencia)	-11,41%	-7,17%	-4,86%
Escenario 2c (diferencia)	-11,42%	-7,18%	-4,87%
Escenario 2d (diferencia)	-11,72%	-7,35%	-4,98%

Tabla 36: Valores del Escenario Base y diferencias entre cada escenario y el Escenario Base para algunos de los contaminantes medidos, en la denominada como "Zona 3". Fuente: elaboración propia.

7.2.2. Ahorro en combustible

No se prevé ningún ahorro en combustible dada la pequeña cantidad de viajes evitados, cuyo beneficio en este aspecto se ve neutralizado debido al aumento de algunas rutas y a las menores velocidades. Así, el consumo de combustible, asumiendo que no habría ninguna electrificación en los vehículos de manera adicional a las tendencias actuales, aumentaría en un 0,4%.

7.3. Selección del escenario óptimo

En primer lugar, para decidir entre la familia de escenarios por la que optar, se ha mirado la flota de bicicletas de carga que cada uno requeriría, así como la cantidad de viajes que así se evitarían.

En número de viajes y vehículos – kilómetro de vehículos pesados evitados los escenarios tipo 1 son aquellos que presentan una mayor reducción: Habría un 6% menos de rutas y un 10 a un 12% menos de vehículos – kilómetro recorridos por los pesados.

No obstante, para lograr estos valores se requiere de una flota de 93 bicicletas con sus respectivos repartidores, tal y como se ha calculado. Una flota de este tamaño sería, muy probablemente, demasiado grande para poder establecer un programa piloto en el que se pueda realizar una prueba, o para una implantación escalada de manera diferida en el tiempo del sistema.

Los escenarios tipo 2 presentan resultados más escuetos en materia de tráfico, con un 2,7% de las rutas de vehículos pesados sustituidas, que se traducen, sin embargo, en reducciones de vehículos – kilómetro recorridos por pesados nada desdeñables: de un 7,8 a un 9,4%. De esto se concluye que los escenarios tipo 2 presentan una mayor efectividad a la hora de evitar las rutas de mayor recorrido.

A su vez, esta familia de escenarios requeriría de una flota de 30 bicicletas, lo cual los hace de mucho más fácil implantación.

En resumen, si bien los escenarios tipo 2 apenas requerirían de un tercio de la flota necesaria para los tipo 1, serían aun así capaces de eliminar aproximadamente un 70% de los kilómetros recorridos por vehículos pesados eliminados por los escenarios tipo 1. Así, una bicicleta en los escenarios tipo 1 es capaz de evitar unos 135 km de recorrido de vehículos pesados diarios, mientras que en los escenarios tipo 2 su eficiencia es muy superior, lindando los 300 km evitados. Dadas tanto sus mayores eficacia y versatilidad como su menor necesidad de recursos, se opta por dar preferencia a los escenarios de la familia 2.

Dentro de este grupo de escenarios, se plantea una nueva disyuntiva para elegir el escenario que presente los mejores resultados en materia de externalidades evitadas sin perder de perspectiva la eficiencia del sistema.

Empezando por esto último, cabe plantear la pregunta de si compensa el implantar un segundo punto de parada del barco (y, por lo tanto, de partida de las bicicletas de carga) en el entorno de la Dársena de Maliaño, junto a la calle Marqués de la Hermita.

Los modelos indican que la parada de la Dársena de Maliaño apenas sería base para un 8% de los envíos a realizar, por lo que se descarta esta opción al no compensar la instalación de un punto de parada, junto con su infraestructura asociada por leve que ésta sea. Se propone así que toda la zona objetivo sea cubierta por un único punto de parada, el situado en el entorno del Centro Botín.

Para la decisión sobre el modelo de Zona de Bajas Emisiones que más conviene (para todos los vehículos motorizados, para coches solamente o no contemplarlo para nada, aunque esto último no sería realista pues por ley tendrá que implantarse una), se ha estudiado tanto sus implicaciones a nivel de tráfico (local y general) como la contaminación en las tres zonas mencionadas en el apartado “Emisiones evitadas”.

El flujo de tráfico (comparado respecto al Escenario 2) se vería prácticamente inalterado en los ejes estudiados en el apartado “Reducción de tráfico en ejes seleccionados” para el caso en el que no hubiera zona de bajas emisiones, mientras que constataríamos aumentos de más de un 10% en la calle Calvo Sotelo (sentido oeste – este) y en el túnel de Tetuán (sentido sur – norte).

En contaminación del aire a nivel general de toda la red, no se plantean apenas diferencias entre escenarios dentro de la familia de escenarios 2, al ser todas las diferencias inferiores al 1%, ya sean éstas en forma de aumentos o de descensos de las emisiones.

Sí que nos encontramos con notables diferencias cuando vamos a las zonas concretas antes mencionadas (para recordarlas, ver Ilustración 47, Ilustración 49 e Ilustración 48). Así, para la Zona 1 nos encontramos con descensos de casi un 8% en las PM, un 6 % para los NO_x y de un 4,5% para el SO₂ en el Escenario 2d, en el que se considera que la ZBE no se aplica a vehículos pesados.

No obstante, estos descensos en la Zona 1 se ven neutralizados por los aumentos en emisiones en la Zona 2, de un 7%, un 4% y un 3% en PMs, NO_x y SO₂ respectivamente.

Para el resto de los escenarios de la familia 2, así como también para el Escenario 2d en la Zona 3, las diferencias son mínimas y no permiten justificar la decisión de tomar una opción o la otra.

Por lo tanto, parece resultar mejor el mantener una ZBE que se aplique también a los vehículos pesados, de tal manera que éstos no puedan acceder a ella salvo que sea para realizar una entrega en su interior.

7.4. Necesidades operativas de la solución

Según los valores tomados en las diferentes etapas del proceso de cálculo, el escenario escogido efectuaría 6149 envíos diarios repartidos en 473 rutas y sumando 118 toneladas.

Esto necesitaría de una superficie en el centro de consolidación de Raos de aproximadamente 800 metros cuadrados, entre los 746 metros cuadrados necesarios para las zonas de carga y descarga y de consolidación de las mercancías y una provisión de 60 m² adicionales para oficinas. Se han encontrado naves industriales a la venta en el propio polígono, con fácil acceso a la bahía y del orden 1000 m² de superficie útil, por valores que oscilan entre los 250.000 € y los 450.000 €.

Para ello, se considera que un metro cuadrado de suelo es capaz de albergar 300 kg de envíos, y que se requiere de tanto espacio para la recepción y emisión de la carga como para su clasificación.

En lo que respecta a la fase de envío de las mercancías mediante bicicleta de carga, se ha estimado que, dadas las dimensiones de uno de estos vehículos, se requeriría del equivalente a 10 plazas de aparcamiento para aparcarlas en los momentos en los que no estén siendo utilizadas.

Esto podría hacerse en uno de los aparcamientos subterráneos que hay en el entorno, reservando permanentemente dicho número de plazas en un movimiento que, además, ayudaría a ir reduciendo la facilidad otorgada a los coches para acceder al centro de Santander, en este caso en forma de capacidad de aparcamiento.

Se ha realizado también un breve estudio de los costes de operación que habría asociados al sistema de bicicletas, del que han quedado exentos tanto el centro de consolidación como la parte acuática.

Para ello, se ha calculado, en función del coste en salarios del conductor y del coste de compra, mantenimiento y funcionamiento de la bicicleta, el coste tanto por hora y bicicleta como por kilómetro recorrido: 18,11 €/hora y 2,26 €/km, respectivamente.

En consecuencia, la parte puramente de bicicletas de carga del sistema tendría unos costes operativos de 13657,6 € diarios o, lo que es lo mismo, de 2,22 € por envío realizado.

En función de la disposición de las administraciones públicas para subvencionar el funcionamiento de este sistema (el coste total ascendería a 1.086.880 € al año, excluidos costes de operación del acercamiento de mercancías en barco y los del centro de consolidación, si bien este valor incluye la inversión en salarios que termina por revertirse en la ciudad), se podría plantear el cobro de un canon por envío que pudiera reducir dicho coste. No obstante, esto queda fuera de la intención de este trabajo.

La fase del envío en barco no ha sido calculada, más allá de la consideración de que los envíos correspondientes a un día cabrían en 6 contenedores “de 20 pies” (de dimensiones exteriores 6,10 m · 2,44 m · 2,59 m). En función de la capacidad del barco escogido, en una futura iteración del trabajo se podría desarrollar mejor este aspecto⁶⁴.

⁶⁴A modo de comentario, se sabe de la existencia de astilleros que podrían estar interesados en el diseño de naves propulsadas con energía solar con el objetivo de enviar mercancías a nivel local. No habría además, en principio, problemas de autonomía dada la poca distancia a recorrer en cada trayecto.

8. Conclusiones y posibles desarrollos a futuro

En este trabajo se ha desarrollado una mejora respecto al modelo actual de tráfico de Santander, en la que se hace una separación entre los vehículos ligeros y pesados con datos tanto de los accesos a la ciudad como de demanda de mercancías a nivel general y de comercios existentes en la misma.

Por otra parte, se han implementado con éxito modelos de demanda de mercancías para poder estudiar la forma de la que ésta se puede atender y cómo ello afecta a la red viaria de Santander.

Se ha realizado una vasta revisión bibliográfica, en la que se han estudiado varios aspectos para una solución lo más global posible:

- Se han encontrado y analizado someramente casos en el extranjero que nos hacen concluir que las posibilidades del uso de la vía acuática para el tráfico de acceso de mercancías a Santander merecen ser tenidas en cuenta y analizadas en mayor profundidad.
- Se ha detectado la necesidad de complementar el sistema de ciclogística propuesto con la ayuda de un centro de consolidación compartido que permita una mayor eficacia de la solución.
- Se han encontrado y comparado casos de estudio de sistemas de reparto mediante bicicletas de carga en numerosas ciudades. También se han sacado recomendaciones sobre el diseño y los condicionantes de un sistema de estas características.
- Se han mencionado ejemplos de lugares en los que el paradigma de la movilidad urbana ha cambiado por completo o está camino de hacerlo. Éstos se han tomado como objetivo a la hora de abogar por medidas como la generalización de los carriles bici segregados, o la limitación de la capacidad en los ejes viarios.

Así las cosas, se ha propuesto una eventual primera fase de implementación de un sistema de ciclogística en Santander, que resultaría novedoso para la ciudad y podría ser implementado a modo de prueba, para analizar en campo su funcionamiento y la viabilidad de pasar a una eventual segunda fase.

Los resultados de la modelización tanto del sistema como de las medidas que lo acompañan invitan al optimismo en cuanto a viabilidad, descenso del uso de vehículos privados y mejora de la calidad del aire.

De cara a futuros estudios y proyectos relacionados con este trabajo, hay múltiples mejoras y puntos de vista a poder implementar.

Por una parte, se podría mejorar y profundizar el estudio disponiendo de datos más actualizados, pues los datos de comercios son de 2010 (año en el que los mismos podían estar siendo fuertemente impactados por la crisis económica que afectó particularmente a España durante esa época) y los de demanda general de mercancías, éstos últimos provenientes de Nuzzolo, Comi, Ibeas y Moura (2016)⁶⁵, son de hace 7 años.

También sería de gran interés el profundizar en algunos aspectos adicionales de la fase de diseño, que no han sido consideradas en profundidad en este trabajo pero que deberían serlo

⁶⁵ Nuzzolo, A., Comi, A., Ibeas, A., Moura, J.L. Urban freight transport and city logistics policies: Indications from Rome, Barcelona and Santander. *International Journal of Sustainable Transportation*. 2016, 10:6. <https://doi.org/10.1080/15568318.2015.1014778>

de cara a presentar a las administraciones públicas una propuesta completa de este sistema para analizar su viabilidad global:

- Diseño de la fase de acercamiento de mercancías en barco, de la que este trabajo se ha limitado a confirmar someramente su viabilidad mediante una revisión bibliográfica. Se podría hacer un estudio del tipo de barco óptimo para este servicio (velando por evitar las emisiones de sustancias nocivas para la salud humana y medioambiental) y sus necesidades asociadas.
- Diseño de más necesidades de infraestructura del sistema de envío, tales como una reforma de muelles de carga y descarga de ser necesaria, o el estudio de las grúas móviles que se requerirían en Raos y/o el entorno del Centro Botín.
- Diseño, cálculo y optimización del sistema operacional para analizar de dónde se podrían optimizar operaciones, de tal manera que se maximice el aprovechamiento del hecho de estar mutualizando envíos de diferentes operadores logísticos y así reducir los posibles mayores costes asociados a este sistema permitiéndole entrar en competición con el sistema tradicional con una menor necesidad de respaldo en subvenciones.
- Estudio de otros usos complementarios con los que el sistema pueda tener un interés añadido, tales como:
 - Aprovechar el centro de consolidación, los viajes en barco y las rutas en bicicleta de carga para proporcionar a los pequeños comercios servicios de almacenamiento para el stock que no les quepa en las tiendas.
 - Hacer uso del sistema en su conjunto también para el envío de mercancías en dirección inversa, ya sea artículos vendidos por tiendas locales y exportados fuera de la ciudad, o para recopilación de los envíos de paquetería que se hagan desde los 3 códigos postales de la zona objetivo.
 - Aprovechar viajes de vuelta de los barcos para la evacuación de basuras de la ciudad.
 - Estudiar el potencial de las bicicletas de carga como soporte publicitario para que el sistema pueda obtener unos ingresos que le permitan cuadrar mejor las cuentas.

Además, la distribución urbana de mercancías es un campo en el que recientemente han sucedido importantes cambios, tal y como se ha mencionado en el apartado “Causa número 3: el nuevo paradigma de logística urbana dado por la atomización de los envíos”. De una buena obtención de datos y sus tendencias actuales, se podría obtener una solución mucho mejor, pues se estaría haciendo frente a la paquetería, que es donde los envíos se encuentran con diferencia más atomizados.

Resultaría interesante también la realización de un análisis de ciclo de vida de la propuesta elegida frente a la continuación del sistema actual, en la que se muestren de mejor manera los impactos ambientales de un y otro sistema. De esta manera se estarían no solamente teniendo en cuenta las emisiones de gases a nivel local, sino también los impactos sobre el medioambiente de toda otra índole que se produzcan, de forma local o deslocalizada.

De igual manera, se considera de gran interés el realizar un análisis económico más profundo que el realizado aquí, para determinar mejor las necesidades de inversión y subvención para este sistema. Si bien se ha buscado mantener la solución dentro de unos ciertos parámetros de frugalidad tecnológica y sobriedad económica, es fundamental poder realizar dicho análisis para estudiar si conviene hacer la prueba o, sin embargo, se trata ésta de una idea que hay que dejar en el cajón.

Bibliografía

Artículos

Atelier Parisien d'Urbanisme. Évolution des mobilités dans le Grand Paris Tendances historiques, évolutions en cours et émergentes. 2021. <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/evolution-mobilites-grand-paris-tendances-historiques-evolutions-cours-emergentes>

Coordinateur du Réseau National Cyclable, Vélo et Territoires. Fréquentations Vélo en France. 2022, 3. Accesible en: https://www.velo-territoires.org/wp-content/uploads/2022/09/2022_09_07_Bulletin-Frquentation-vlo-en-France_3.pdf

Cyclelogistics – City Changer Cargo Bike. Stakeholder's Guide. Expanding the Reach of Cargo Bikes in Europe. 2022. Accesible en <http://cyclelogistics.eu/publications/stakeholders-guide-expanding-the-reach-of-cargo-bikes-in-europe/>

Elbert, R., Friedrich, C. Urban consolidation and cargo bikes: a urban study. Transportation Research Procedia 48 (2020), pp 439-451. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.051>

Fariña J, Higuera E, Román E, Pozo E (2022). Guía para planificar ciudades saludables. Ministerio de Sanidad, FEMP. Madrid. Accesible en https://fundadeps.org/wp-content/uploads/2022/06/Guia_Planificar_Ciudades_Saludables.pdf

Gruber, J., Kihm, A., Lenz, B. A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. Research in Transportation Business & Management 24 (2017) 26–36 <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2014.03.004>

Janjevic, M., Ndiaye, A.B. Inland waterways transport for city logistics: A review of experiences and the role of local public authorities. 2014: WIT Transactions on The Built Environment, Vol 138. <https://doi.org/10.2495/UT140241>

Lekuona, G., De la Calle, A. Presentación: Hubs Urbanos de Distribución. Presentada por el Clúster de Movilidad y Logística de Euskadi y la Universidad de Deusto al Ayuntamiento de Bilbao (2019).

Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. Real Decreto 1052/2022, de 27 de diciembre, por el que se regulan las zonas de bajas emisiones. Accesible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2022-22689

Nürnberg, M.: Analysis of using cargo bikes in urban logistics on the example of Stargrad. Transportation Research Procedia 39 (2019) 360-369. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.038>

Ntziachristos, L., Samaras, Z. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2020. 1.A.3.b.i, 1.A.3.b.ii, 1.A.3.b.iii, 1.A.3.b.iv. Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles. 2020. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/view>

Nuzzolo, A., Comi, A., Ibeas, A., Moura, J.L. Urban freight transport and city logistics policies: Indications from Rome, Barcelona and Santander. International Journal of Sustainable Transportation. 2016, 10:6. <https://doi.org/10.1080/15568318.2015.1014778>

Observatorio de la Movilidad Metropolitana. Informe OMM 2019 – Avance 2020. Julio 2021. Accesible en: <https://observatoriomovilidad.es/informes/>

Observatorio del Transporte y la Logística en España. Movilidad Urbana y Metropolitana: Un gran reto de las ciudades del siglo XXI. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Enero de 2020. Accesible en: https://observatoriotransporte.mitma.es/recursos_otle/monografico_otle_2019_movilidad_urbana_y_metropolitana_1.pdf

Rudolf, C., Gruber, J. Cargo cycles in commercial transport: Potentials, constraints, and recommendations. 2017: Research in Transportation Business & Management 24 (2017) 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.06.003>

Sárdi, D.L.; Bóna, K. A Geometrical Structure-Based New Approach for City Logistics System Planning with Cargo Bikes and Its Application for the Shopping Malls of Budapest. Appl. Sci. 2021, 11, 3300. <https://doi.org/10.3390/app11083300>

Schliwa, G., Armitage, R., Aziz, S., Evans, J., & Rhoades, J. (2015). Sustainable city logistics—Making cargo cycles viable for urban freight transport. Research in Transportation Business & Management, 15, 50–57. <http://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.02.001>

Servicio de planeamiento de carreteras del Ministerio de Obras Públicas (hoy Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana). Recomendaciones para la evaluación económica, coste-beneficio de estudios y proyectos de carreteras. 1990 – 2011. Disponible en: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/0410901.pdf

Sheth, M. et al. Measuring delivery route cost trade-offs between electric-assist cargo bicycles and delivery trucks in dense urban areas. European Transport Research Review. 2019, 11:11. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0349-5>

SUM+LAB. Estudio de Viabilidad de la red de Movilidad Sostenible (Santander 2055). 2021.

Páginas web

Ajuntament de Barcelona. Superilles: <https://ajuntament.barcelona.cat/superilles/es/>

Área de Movilidad. Ayuntamiento de Málaga: [https://movilidad.malaga.eu/Ayuntamiento de Logroño. Logroño Calles Abiertas: <https://logronocallesabiertas.es/>](https://movilidad.malaga.eu/Ayuntamiento_de_Logroño_Logroño_Calles_Abiertas)

Ayuntamiento de Santander. “El TUS cerró 2019 con más de 19,5 millones de usuarios”: <https://www.santander.es/content/tus-cerro-2019-mas-195-millones-usuarios>

Calidad del Aire de Cantabria. Consejería de Desarrollo Rural, Ganadería, Pesca, Fsearrollo Rural y Medio Ambiente. Gobierno de Cantabria: <https://airecantabria.com/index.php>

City Changer Cargo Bike: <http://cyclelogistics.eu/>

Concello de Pontevedra. Metrominuto: <https://metrominuto.pontevedra.gal/es/>

Concello de Pontevedra. OK: <https://ok.pontevedra.gal/es/>

CoopCycle: www.coopcycle.org/es/

DBus. Memoria anual DBus 2019: https://www.dbus.eus/wp-content/uploads/2020/06/2_DBUS_MEMORIA_2019_CAST_baja.pdf

Google Earth: <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Google Maps: <https://maps.google.com>

Grupo de Investigación de Movilidad Sostenible e Ingeniería Ferroviaria: <https://sumlab.unican.es/>

INE, Instituto Nacional de Estadística: <https://www.ine.es>

Información Logística. “La distribución de última milla: como el perro del hortelano”: <https://informacionlogistica.com/la-distribucion-de-ultima-milla-como-el-perro-del-hortelano/>

Le Journal du Dimanche. “La Seine, une voie de trafic de marchandises encore trop vide”: <https://www.lejdd.fr/Societe/La-Seine-une-voie-de-traffic-de-marchandises-encore-trop-vide-726430-3039623>

Le Parisien. “Chez Franprix à Paris, les produits arrivent par la Seine”: <https://www.leparisien.fr/info-paris-ile-de-france-oise/transports/chez-franprix-a-paris-les-produits-arrivent-par-la-seine-05-10-2017-7310964.php>

Málaga Smart. Ayuntamiento de Málaga. Centro Urbano de Distribución Ecológica: <https://malagasmart.malaga.eu/es/movilidad-inteligente/movilidad-electrica/centro-urbano-de-distribucion-ecologica/#.Y2fQx-TMJY>

Ministerio de Transporte, Medio Ambiente y Agenda Urbana. Mapa Tráfico 2019: <https://www.mitma.gob.es/carreteras/trafico-velocidades-y-accidentes-mapa-estimacion-y-evolucion/mapas-de-trafico/2019>

Naciones Unidas. “Climate change: No ‘credible pathway’ to 1.5C limit, UNEP warns”: <https://news.un.org/en/story/2022/10/1129912>

OMS. Ambient (outdoor) air pollution: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Real Academia Española. Diccionario de la Lengua Española: <https://dle.rae.es/>

Road Orientation Map (Volodymyr Agafonkin): <https://mourner.github.io/road-orientation-map>

Schéma de Cohérence Territoriale métropolitain du Grand Paris. “Logistique urbaine : Franprix, un exemple réussi”: https://scot.metropolegrandparis.fr/wp-content/uploads/2018/12/MGP_Labo_SCOT_fiche-HAROPA_logistiqueurbaine_181206.pdf

Soria 2030. Movilidad y Transporte: <https://www.soria2030.es/es/eje/movilidad-transporte>

Txita: <https://www.txita.com/>

Vélo et Territoires. Red de conteo. <https://data.eco-counter.com/ParcPublic/?id=891#>

Voies Navigables de France. “Le transport fluvial au service du Grand Paris Express”: <https://www.vnf.fr/vnf/app/uploads/2019/09/Communiqu%C3%A9-Le-transport-fluvial-au-service-du-Grand-Paris-Express.pdf>

Wikipedia. Analytic Hierarchy Process:

https://es.wikipedia.org/wiki/Proceso_analítico_jerárquico

Youtube / Poma. Cyclocable® Concept: <https://www.youtube.com/watch?v=pOL1GTkfzww>

Consultas a expertos

Alberto de la Calle Vicente, Profesor titular y Responsable del área departamental de Organización industrial en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto.

Dani Ruiz. Responsable y co-fundador de Txita, empresa de ciclologística en Donostia – San Sebastián

Libros⁶⁶

Antonio Turiel: Petrocalipsis (Alfabeto, 2020).

Carlos Taibo: Colapso: capitalismo terminal, transición ecosocial, ecofascismo (Catarata, 2016).

Pablo Servigne y Raphaël Stevens : Comment tout peut s'effondrer (Seuil, 2015). Ha sido traducido al castellano bajo el título "Colapsología" (Arpa, 2020).

Philippe Bihouix: L'Âge des Low Tech : Vers une civilisation techniquement soutenable (Seuil, 2014)

Rachel Carson: Silent Spring (Houghton Mifflin, 1962)

⁶⁶ Si bien se hace referencia a ellos, los libros mencionados no han sido leídos de manera expresa para este trabajo.

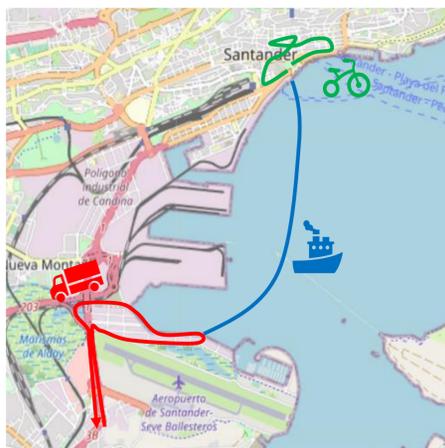
SISTEMA DE CICLOLOGÍSTICA EN SANTANDER

El fugado de la fuga

IDEA GENERAL



SISTEMA ACTUAL:
Los camiones vienen cada uno de su respectivo centro logístico, efectúan su reparto y vuelven a su punto de origen. Esta situación genera **muchos viajes paralelos por el eje de la Avenida de Parayas (S-10) - Calles Castilla y Marqués de la Hermida**, además de un intenso tráfico de vehículos pesados en el centro de la ciudad. Ello conlleva numerosas externalidades (ruido, emisiones, invasión del espacio público...) a ser eliminadas para tener una ciudad más habitable.



SISTEMA PROPUESTO:
Los camiones, independientemente del operador logístico al que pertenezcan, **depositan su carga en Raos. Se consolidan las mercancías y se embarcan** hacia el centro de la ciudad (inmediaciones del Centro Botín). Una vez depositadas ahí, **el reparto se hace mediante bicicletas de carga**. Se propone, además, acompañar el sistema de una Zona de Bajas Emisiones, reducciones de velocidad y capacidad en los ejes principales, y de una red de carriles-bici que permitan hacer de la bicicleta un modo de transporte más competitivo frente al vehículo privado.

PROCESO DE DISEÑO

1 - Estudio de casos

Países de los que se han encontrado casos de estudio



2 - Escoger alternativas

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS A PLANTEAR
Método AHP - Analytic Hierarchy Process

- Criterios:
- Coste económico de su implantación y mantenimiento.
 - Complementariedad entre las propuestas.
 - Molestias e inconveniencias causadas.
 - Impacto medioambiental esperado.
 - Valor simbólico y recepción entre la población.

3 - Definir la solución

DEFINICIÓN DE LOS PILARES DE LA SOLUCIÓN:

- **Sistema de ciclologística:** Tipos de envíos a cubrir, zonas objetivo, operación del centro de consolidación.
- **Acercamiento de las mercancías por barco:** Puntos de partida y de llegada.
- **Medidas adicionales asociadas:** Carriles-bici y reducción de capacidades y velocidades de los principales ejes viarios.

4 - Modelizado Visum

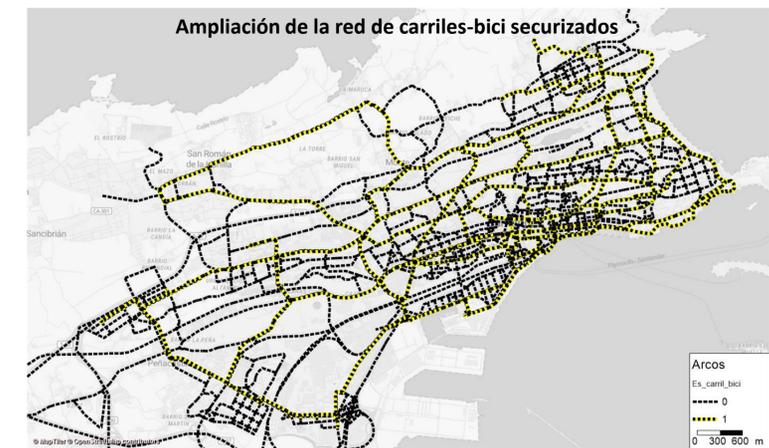
MODELIZACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS:

- Elaboración de un **escenario base** en el que se tenga en cuenta la demanda de mercancías. Posterior preparación de **escenarios con las alternativas:**
- Mayor o menor demanda a ser cubierta
 - Variaciones en las restricciones asociadas a la ZBE.

Zona de bajas emisiones considerada



Ampliación de la red de carriles-bici securizados



CÁLCULO: MODELOS VISUM

Modelo original

Situación actual (2022) calibrada. No considera ninguna separación dentro de los vehículos privados entre ligeros y pesados.



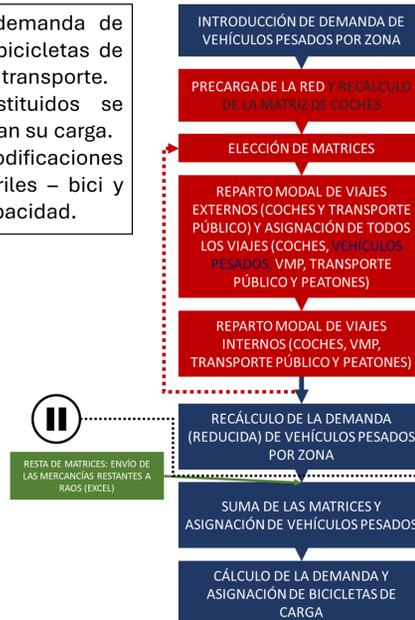
Modelo base

Elaboración de un modelo de demanda de mercancías basado en los comercios de Santander (tipología, ubicación y tamaño). Incorporación de la demanda como vehículos pesados y recálculo de los ligeros tras restar los pesados al total de vehículos privados.



Modelos ciclologística

Sustitución de parte de la demanda de vehículos pesados por la de bicicletas de carga, e inclusión del modo de transporte. Los vehículos pesados sustituidos se desvían a Raos, donde depositan su carga. Se añaden las modificaciones complementarias: red de carriles - bici y limitaciones de velocidad y capacidad.



RESULTADOS

- Se atenderían **6.000 envíos diarios** de los códigos postales 39002, 39003 y 39009.
- Se necesitaría para ello una **flota de 30 bicicletas de carga**, que **sustituiría un 2,7% del total de rutas de entrega** actualmente realizadas mediante vehículos pesados en toda la ciudad.
- **Cada bicicleta evitaría 300 km de recorrido de vehículos pesados.**
- **Se reduciría el tráfico** de vehículos a motor en los principales ejes viarios de Santander en una media de un **17%**.
- El acceso y salida por **Castilla / Hermida** se vería especialmente beneficiado al pasar a tener más de un **30% menos de tráfico**.
- **No se observarían** aumentos de tráfico debidos a posibles **efectos frontera**, consiguiendo así evitar que los efectos positivos en una parte de la ciudad resulten en efectos nocivos en otras zonas.
- **La movilidad activa aumentaría en un 10%** a nivel general de la ciudad, gracias en parte al sistema de carriles-bici propuesto.
- **Las emisiones de partículas en suspensión bajarían en un 2%** para el conjunto de la ciudad, con descensos de hasta un 11% en las zonas más beneficiadas.
- Se estaría proporcionando una **vía de entrada adicional a la ciudad** a las mercancías en caso de contingencia.

NECESIDADES OPERATIVAS

- Los **costes operativos del sistema de bicicletas de carga** (excluidos el centro de consolidación y el acercamiento de las mercancías en barco) rondaría el **millón de euros anuales**, siendo la mayoría destinado a salarios por lo que buena parte de ellos revertiría en la propia ciudad.
- Se necesitaría un espacio del orden de 800 m² para el centro de consolidación de mercancías en Raos.