



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mi tutor su ofrecimiento a hacer un trabajo sobre este tema conmigo, su continua ayuda y sus consejos.

Por otro lado, nunca podré agradecer todo el apoyo de mi familia y pareja en estos meses y años difíciles, no podría haberlo hecho sin vosotros.

## RESUMEN

La reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> es uno de los principales objetivos mundiales debido a los problemas medioambientales y enfermedades que producen. Además, el agotamiento progresivo del petróleo, la necesidad de proveer una calidad de aire aceptable en las ciudades y el aumento del comercio online, hace indispensable encontrar alternativas factibles a los vehículos de combustión fósil en el transporte al por menor.

El presente trabajo se centra en estudiar el impacto que supone la implantación de vehículos eléctricos en la distribución de la última milla de alimentos vendidos en plataformas de *e-commerce*.

Para ello, se ha planteado un problema de rutas de vehículos desde un centro de distribución hasta los domicilios de los clientes. Se ha resuelto mediante el Algoritmo de Clarke & Wright a través de la herramienta de Visual Basic de Excel. Con las distancias obtenidas se han comparado las emisiones producidas por diferentes flotas de furgonetas existentes en el mercado y se ha comprobado cuál es la opción más sostenible, tanto en Valencia como en las 10 ciudades más pobladas de España, siendo ésta la flota eléctrica.

Además, se han comparado los costes de amortización, consumo y mantenimiento, al ser estos los únicos en los que existe una variación en la comparación entre los diferentes tipos de furgoneta. Los altos precios de las furgonetas eléctricas del mercado y su escasa autonomía hace que esta opción todavía no sea rentable.

En los próximos años se esperan precios más bajos y autonomías mayores que harán que una flota de furgonetas eléctricas, además de ser la mejor opción para el medio ambiente, sea la alternativa que más beneficios económicos suponga y mejores estrategias competitivas conlleve.

**Palabras clave:** CO<sub>2</sub>, vehículos eléctricos, cadena de suministro verde, última milla, comercio electrónico.

## ABSTRACT

The reduction of CO<sub>2</sub> emissions is one of the main global objectives due to the environmental problems and diseases they produce. Also, the progressive depletion of oil, the need to provide acceptable air quality in cities, and the increase in online commerce, makes it essential to find feasible alternatives to fossil fuel vehicles in retail transport.

This paper focuses on studying the impact of the implementation of the electric vehicle on the distribution of the last mile of food sold on e-commerce platforms.

For this purpose, a problem of vehicle routes from a distribution center to the customers' homes has been raised. It has been solved using the Clarke & Wright Algorithm through the Excel Visual Basic tool. With the distances obtained, the emissions produced by different fleets of vans on the market have been compared and it has been proven which is the most sustainable option, both in Valencia and in the 10 most populated cities in Spain, this being the electric fleet.

In addition, the amortization, consumption, and maintenance costs have been compared, as these are the only ones in which there is a variation in the comparison between the different types of vans. The high prices of electric vans on the market and their limited autonomy mean that this option is not yet profitable.

In the next few years, lower prices and greater autonomy are expected, which will make a fleet of electric vans, in addition to being the best option for the environment, the alternative with the greatest economic benefits and the best competitive strategies.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>, electric vehicles, green supply chain, last mile, e-commerce.

## RESUM

La reducció de les emissions de CO<sub>2</sub> és un dels principals objectius mundials a causa dels problemes mediambientals i malalties que produeixen. A més, l'esgotament progressiu del petroli, la necessitat de proveir una qualitat d'aire acceptable a les ciutats i l'augment del comerç online, fa indispensable trobar alternatives factibles als vehicles de combustió fòssil en el transport al detall.

El present treball se centra en estudiar l'impacte que suposa la implantació de vehicles elèctrics en la distribució de l'última milla d'aliments venuts en plataformes de e-commerce.

Per a això, s'ha plantejat un problema de rutes de vehicles des d'un centre de distribució fins als domicilis dels clients. S'ha resolt mitjançant l'Algorisme de Clarke & Wright a través de l'eina de Visual Basic d'Excel. Amb les distàncies obtingudes s'han comparat les emissions produïdes per diferents flotes de furgonetes existents en el mercat i s'ha comprovat quina és l'opció més sostenible, tant a València com en les 10 ciutats més poblades d'Espanya, sent aquesta la flota elèctrica.

A més, s'han comparat els costos d'amortització, consum i manteniment, a l'ésser aquests els únics en els quals existeix una variació en la comparació entre els diferents tipus de furgoneta. Els alts preus de les furgonetes elèctriques del mercat i la seua escassa autonomia fa que aquesta opció encara no siga rendible.

En els pròxims anys s'esperen preus més baixos i autonomies majors que faran que una flota de furgonetes elèctriques, a més de ser la millor opció per al medi ambient, siga l'alternativa que més beneficis econòmics suposa i millors estratègies competitives comporta.

**Paraules clau:** CO<sub>2</sub>, vehicles elèctrics, cadena de subministrament verd, última milla, comerç electrònic.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objeto del proyecto: .....	1
1.2 Introducción al problema .....	1
2. MOTIVACIÓN .....	8
3. OBJETIVOS .....	9
4. ANTECEDENTES .....	10
4.1 Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	10
4.1.1 Desarrollo sostenible.....	11
4.1.2 Mercado de CO <sub>2</sub> .....	11
4.2 Las empresas .....	11
4.2.1 Responsabilidad Social Corporativa .....	11
4.2.2 Cadena de Suministro Verde.....	12
4.2.3 El transporte.....	13
4.3. El comercio electrónico .....	14
4.3.1 B2C .....	16
4.3.2 España .....	17
4.3.3 Cadena de suministro de venta online.....	20
4.3.4 Tipos de entrega.....	22
4.3.5 Tasa de fallos .....	23
4.3.6 Distribución .....	24
4.4 Los vehículos eléctricos: emisiones y carga .....	28
5. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	32
5.1 Problema de rutas de vehículos (VRP) .....	32
5.2 Algoritmo Clarke and Wright.....	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
6.1 Recopilación de datos .....	38
6.1.1 Demanda .....	38
6.1.2 Distancias .....	39
6.1.3 Vehículo.....	41
6.1.4 Capacidad .....	43
6.1.5 Emisiones.....	43
6.1.6 Autonomía.....	45
6.1.7 Precio de los carburantes y kWh.....	46
6.1.8 Otros costes:.....	48

6.1.9 Cálculo de emisiones y costes por ciudad .....	50
6.2 RESULTADO EMISIONES .....	50
6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	53
7. CONCLUSIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXO .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Causas y consecuencias del Calentamiento Global. Fuente: Elaboración propia.</i>	2
<i>Figura 2. Antiguo vehículo eléctrico. Fuente: Inés et al., 2011.</i>	3
<i>Figura 3. Evolución anual del consumo de petróleo en España de 1990 a 2018. Fuente: Petróleo: Consumo España 1990-2018   Statista, 2018.</i>	3
<i>Figura 4. Mapa emisiones CO2. Fuente: El Cambio Climático, En Datos y Gráficos, 2018.</i>	4
<i>Figura 5. Etiquetas ecológicas. Fuente: Renault, 2017.</i>	5
<i>Figura 6. Mapa interactivo polución Europa. Fuente: Interactive Map Shows Air Quality across Europe in Real Time   London Evening Standard, 2017.</i>	5
<i>Figura 7. Autonomía vehículos eléctricos en el mercado. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del artículo Silva et al., 2018.</i>	6
<i>Figura 8. Niveles CO<sub>2</sub> comparado con la recomendación ONU. Fuente: ¿Cuánto Hay Que Reducir Las Emisiones de Dióxido de Carbono Para Frenar El Cambio Climático? Statista, 2018.</i>	10
<i>Figura 9. Cadena de Suministro convencional de alimentos frescos. Fuente: Ehrler et al., 2019.</i>	12
<i>Figura 10. Tasa de crecimiento de las ventas online en Europa 2015/2016 en porcentaje. Fuente: Online Share of Retail Trade in Countries 2018 Statista, 2018.</i>	15
<i>Figura 11. Cuota de mercado online de las ventas de alimentos en Europa 2017. Fuente: Value Share of Online Grocery Shopping Market in EU 2017 Statista, 2017.</i>	16
<i>Figura 12. Volumen de negocio del comercio electrónico en el sector alimenticio en España del cuarto trimestre de 2013 al primer trimestre de 2019. Fuente: Statista, 2020.</i>	17
<i>Figura 13. Porcentaje de población que compró productos de alimentación a través de Internet en España en 2019, por tamaño de población. Fuente: Statista, 2020.</i>	18
<i>Figura 14. Personas que han comprado alimentos por Internet por Comunidad Autónoma. Fuente: ONTSI, 2019.</i>	19
<i>Figura 15. Cadena de suministro de venta online de alimentos frescos. Fuente: Ehrler et al., 2019.</i>	20
<i>Figura 16. Entrega a domicilio. Fuente: Elaboración propia.</i>	22
<i>Figura 17. Entrega a cajas de recepción. Fuente: Elaboración propia.</i>	23
<i>Figura 18. Entrega a puntos de recogida y entrega. Fuente: Elaboración propia.</i>	23
<i>Figura 19. Diagrama cadena distribución desde Centro de distribución. Fuente: Adaptado de apuntes Logística de Distribución Directa e Inversa, GIOI UPV.</i>	24
<i>Figura 20. Diagrama cadena distribución desde una tienda. Fuente: Adaptado de apuntes Logística de Distribución Directa e Inversa, GIOI UPV.</i>	25
<i>Figura 21. Estructura generación electricidad España. Fuente: La Demanda de Energía Eléctrica de España Desciende Un 4,6% En Marzo. Red Eléctrica de España, 2020.</i>	27
<i>Figura 22. Comparación emisiones coche diésel y gasolina Vs. Eléctrico por país. Fuente: Emilio J. Fernández Rey, 2020.</i>	29



<i>Figura 23. Comparación precios vehículos diésel, gasolina y eléctrico por la cámara de comercio de España. Fuente: Renault, 2017.</i>	29
<i>Figura 24. Facturación energía activa PVPC. Fuente: Precio Voluntario Para El Pequeño Consumidor (PVPC), Red Eléctrica de España, 2020.</i>	30
<i>Figura 25. Representación gráfica del problema VRP. Fuente: Elaboración propia.</i>	33
<i>Figura 26. Dos rutas antes y después de ser unidas. Fuente: Olivera, 2004.</i>	35
<i>Figura 27. Diagrama de flujo algoritmo C&amp;W. Elaboración propia a partir de apuntes y Olivera, 2004.</i>	37
<i>Figura 28. Generación de números aleatorios en Excel. Fuente: Elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 29. Mapa con distancia desde el Polígono Industrial del Oliveral hasta el centro de Valencia. Fuente: Elaboración propia con la herramienta Google Maps.</i>	41
<i>Figura 30. A la izquierda, Mercedes Vito Furgón. Fuente: Vito Furgón   Furgonetas y Tourer Mercedes-Benz, n.d. A la derecha, Renault Master Z.E. Fuente: MASTER Z.E. - El Furgón 100% Eléctrico - Renault, n.d.</i>	41
<i>Figura 31. Evolución ventas vehículos comerciales eléctricos en España. Fuente: Vehículos Comerciales Eléctricos 2020   Guía de Compra   Comparativa Opiniones, 2020.</i>	42
<i>Figura 32. Caja de plástico para reparto. Fuente: Amazon, n.d.</i>	43
<i>Figura 33. Emisiones de CO2 coches eléctricos. Fuente: Pierre Dornier, 2020.</i>	45
<i>Figura 34. Autonomía Renault Master ZE. Fuente: Autonomía y Recarga MASTER Z.E.: Baterías - Renault, n.d.</i>	46
<i>Figura 35. Evolución de precio carburantes Valencia. Fuente: Histórico de Precios, n.d.</i>	47
<i>Figura 36. Precio gasolina y diésel en España 1 de febrero 2020. Fuente: Precio de La Gasolina y Diesel HOY En Las Gasolineras de España, 2020.</i>	47
<i>Figura 37. Descuentos carburante. Fuente: Aplicación ACOTRAM 3.1.0.</i>	48
<i>Figura 38. Costes generales furgoneta. Fuente: Dirección General de Transporte Terrestre, 2017.</i>	49
<i>Figura 39. Emisiones 5 ciudades más densas de España. Fuente: Elaboración propia.</i>	53
<i>Figura 40. Datos Amortización y Financiación predefinidos. Fuente: ACOTRAM.</i>	54
<i>Figura 41. Coste Mantenimiento y Reparaciones Fuente: ACOTRAM.</i>	55

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Personas que han comprado alimentos por Internet por Comunidad Autónoma. Fuente: ONTSI, 2019.</i>	19
<i>Tabla 2. Coste €/100km de 15,2 kh. Fuente: Lumios ESIOS Electricidad · Datos · Transparencia, 2020.</i>	30
<i>Tabla 3. Precios recarga rápida en España. Fuente: Fernández Munguía, 2020.</i>	31
<i>Tabla 4. Demanda clientes. Elaboración propia.</i>	38
<i>Tabla 5. Matriz de distancias para el problema VRP. Fuente: Elaboración propia.</i>	40
<i>Tabla 6. Características furgonetas Kangoo. Fuentes: Van Online Configurator   Mercedes-Benz, n.d., Datos y Ficha Técnica Mercedes-Benz Vito Furgón 126 Larga FAP 258 CV - Arpem.Com -, n.d., (Bickerstaffe, 2010).</i>	42
<i>Tabla 7. Pedidos por número de habitantes. Elaboración propia.</i>	50
<i>Tabla 8. Resultados Visual Basic. Fuente: Elaboración propia.</i>	51
<i>Tabla 9. Comparación emisiones. Fuente: Elaboración propia.</i>	51
<i>Tabla 10. Furgonetas, distancias y emisiones por ciudad. Fuente: Elaboración propia.</i>	52
<i>Tabla 11. Amortización y Financiación furgonetas. Fuente: Elaboración propia.</i>	54
<i>Tabla 12. Costes carburantes y kwh. Fuente: Elaboración propia.</i>	55
<i>Tabla 13. Coste por entrega de Mantenimiento y Reparaciones. Fuente: Elaboración propia.</i>	56
<i>Tabla 14 Costes totales para una furgoneta. Fuente: Elaboración propia.</i>	57
<i>Tabla 15. Costes diarios ciudades. Fuente: Elaboración propia.</i>	58

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Función objetivo. Fuente: asignatura Métodos Cuantitativos de la Organización Industrial, GIOI UPV.</i>	34
<i>Ecuación 2. Restricción visitas. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.</i>	34
<i>Ecuación 3. Restricción flujo entrada y salida. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.</i>	34
<i>Ecuación 4. Restricción capacidad. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.</i>	34
<i>Ecuación 5. Restricción salir desde Centro Distribución. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.</i>	34
<i>Ecuación 6. Restricción regresar al Centro Distribución. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.</i>	34
<i>Ecuación 7. Restricción autonomía. Fuente: Elaboración propia.</i>	35
<i>Ecuación 8. Ahorro Clarke &amp; Wright. Fuente: asignatura Métodos de la Organización Industrial. GIOI UPV.</i>	35
<i>Ecuación 9. Pedidos por furgoneta en función del volumen. Fuente: Elaboración propia.</i>	43

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Objeto del proyecto:

El objetivo de esta investigación es conocer el impacto que supondrá la implantación de los vehículos de transporte eléctricos en la distribución de la última milla de alimentos vendidos en plataformas de comercio electrónico, contribuyendo a la reducción del CO<sub>2</sub>, preservando el medio ambiente y, adicionalmente como resultado, obteniendo beneficios estratégicos.

Para estudiar el efecto en la reducción de CO<sub>2</sub> al introducir vehículos eléctricos en la última milla para la distribución de alimentos comercializados vía online, se compararán las emisiones de diferentes vehículos de transporte en base a un modelo predefinido de ruta y se comprobará cuál es la opción más sostenible.

El estudio de la posible mejora en la estrategia de las empresas al incorporar vehículos eléctricos en su cadena de suministro. Evaluando si la empresa obtiene beneficios económicos, ventajas competitivas. Estimándose el impacto del uso de vehículos eléctricos en el transporte de mercancías desde el centro de distribución hasta el destino final.

### 1.2 Introducción al problema

La reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> es actualmente uno de los principales objetivos mundiales. El exceso de este gas es el principal causante del calentamiento global, junto con otros gases de efecto invernadero (GEI). El aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de los últimos años ha provocado numerosos daños, desde problemas medioambientales como la paulatina desaparición de los polos, hasta enfermedades causadas por el aumento de este tipo de gases en el aire.

En cuanto a los efectos ambientales, hay evidencias del aumento de la temperatura oceánica, la acidificación del océano y la paulatina desaparición de los polos. Se producen cambios en la naturaleza, como migraciones de especies de animales que antes no existían debido a cambios climáticos abruptos, extinciones de algunas especies y fenómenos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones.

El aumento de problemas respiratorios, sobre todo en niños, tiene relación con la exposición cada vez mayor de la población a estos gases dañinos para la salud. La relación entre la contaminación del aire y enfermedades como el asma está comprobada (Rossati, 2017). Las partículas del aire contaminado pueden producir daños en todo el aparato respiratorio.

Además, se produce un cambio en la distribución de las enfermedades infecciosas con el calentamiento y los cambios en los brotes asociados con los eventos climáticos extremos. El calentamiento global produce el aumento de la temperatura del agua, lo cual aumenta la proliferación de patógenos que se transmiten por esta vía, y también mediante mosquitos (Rossati, 2017).

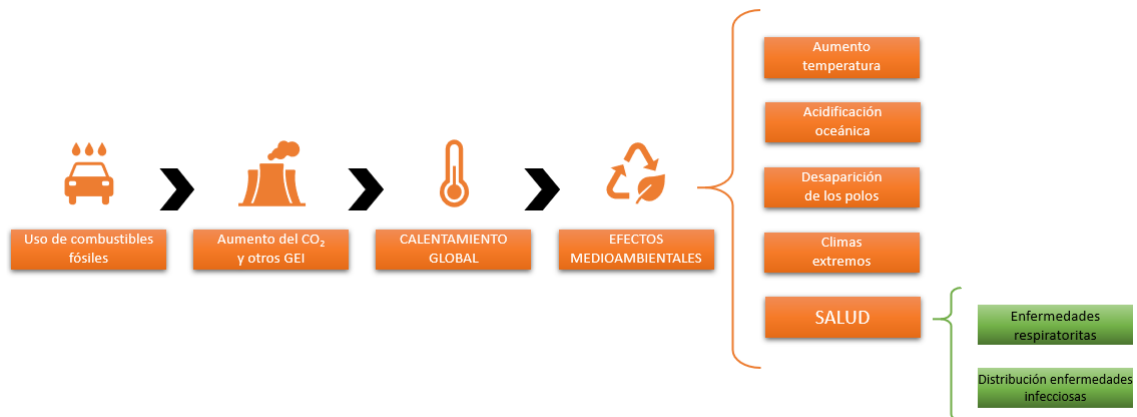


Figura 1. Causas y consecuencias del Calentamiento Global. Fuente: Elaboración propia.

La creciente preocupación por el medio ambiente, el agotamiento progresivo del petróleo y la incertidumbre de su precio ha generado una general concienciación hacia la necesidad de una movilidad más sostenible. Son numerosos los argumentos que promueven el cambio de modelo de transporte actual.

Hasta ahora siempre se han utilizado vehículos de combustión fósil. Estos vehículos son uno de los principales factores que contribuyen al calentamiento global. A lo largo de los últimos años, se han estudiado diferentes posibilidades que redujeran las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de las posibilidades estudiadas han sido los biocombustibles (Rodríguez Monroy, 2010), llegando a la conclusión de que no serán rentables en un futuro debido a su escasa competitividad, ya que las cotizaciones medias ponderadas de las materias primas de los biocombustibles dependen de forma lineal y positiva de la cotización del petróleo. Por ello, si no se renueva la exención fiscal de los biocombustibles, saldrán incluso del mercado.

También se ha analizado si es posible emplear el uso del hidrógeno como alternativa factible a los combustibles fósiles (Monroy, 2010), llegando a la conclusión de que la mejor opción es utilizar una pila de combustible obteniendo la energía de una planta eléctrica de origen eólico, hidráulico o nuclear. Esta opción es más factible que los biocombustibles.

Por otro lado, siendo el objeto de estudio de este trabajo, los vehículos eléctricos parecen la mejor opción. Aunque no es un aspecto muy conocido, los primeros automóviles fueron eléctricos. A lo largo del siglo XIX diversos inventores desarrollaron prototipos de vehículos eléctricos a escala, pero posteriormente el motor de combustión fue el método dominante durante años (Inés y Valera, 2011).



Figura 2. Antiguo vehículo eléctrico. Fuente: Inés et al., 2011.

Durante las últimas décadas, el impacto ambiental ocasionado por la infraestructura para el transporte basado en el petróleo, junto con el precio de este mismo, ha llevado a la aparición de un renovado interés por una infraestructura de transporte eléctrico.

El consumo mundial diario de petróleo es de 84 millones de barriles (Maeso, González y Pérez, 2012). El transporte en la Unión Europea depende en un 96% de este petróleo. Se ha calculado que el impacto en el medio ambiente del uso de combustibles fósiles por el sector del transporte es un 33% del total de emisiones de CO<sub>2</sub>, (siendo un 25% por transporte urbano). La Unión Europea tiene el objetivo claro de promover el cambio hacia un transporte más limpio.

Además, se prevé una duración de 40 años de las reservas de petróleo. Así pues, encontrar y desarrollar soluciones alternativas al mismo se convierte en una necesidad estratégica de futuro. Por ello, en este trabajo se propone la utilización de vehículos eléctricos como alternativa para la reducción del uso del petróleo como fuente de energía y apostar por fuentes de energía sostenibles, ya que además de la dependencia energética que esto supone, llegará un momento en el que no se disponga de este recurso o la legislación prohíba la circulación de estos vehículos por áreas urbanas con elevada densidad de población.

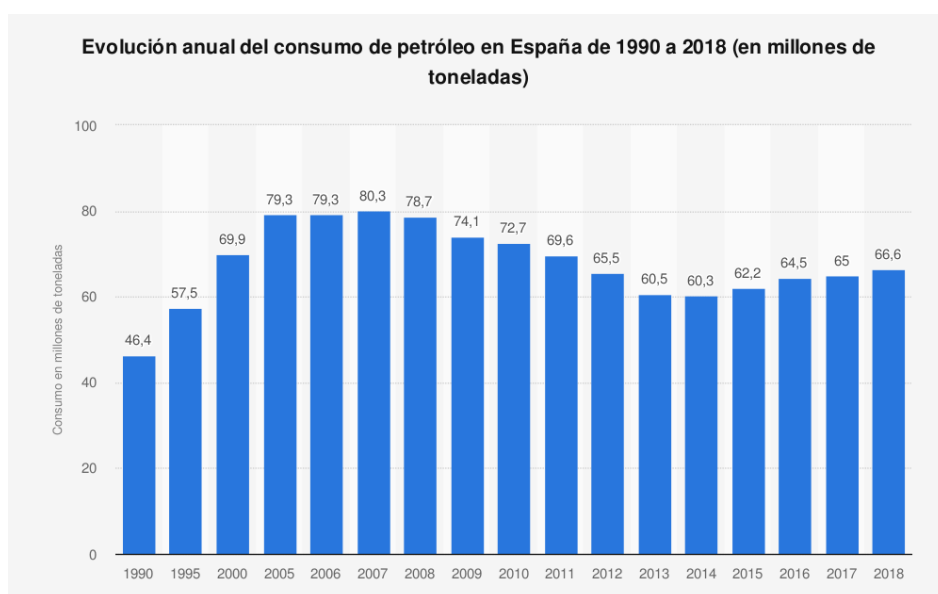


Figura 3. Evolución anual del consumo de petróleo en España de 1990 a 2018. Fuente: *Petróleo: Consumo España 1990-2018 | Statista, 2018.*

En España, el sector del transporte se ha convertido en el principal responsable del aumento del grado de dependencia energética y de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, produciendo el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, siendo el 65% debido al transporte por carretera (González et al., 2012). Una solución óptima para reducir las emisiones contaminantes en el transporte por carretera, y en especial en el transporte de mercancías desde el centro de distribución hasta el destino final, también llamado última milla, sería el uso de vehículos eléctricos.



Figura 4. Mapa emisiones CO<sub>2</sub>. Fuente: *El Cambio Climático, En Datos y Gráficos*, 2018.

Las ciudades cada vez tienen más problemas para proveer una calidad de aire aceptable para sus habitantes. Sin embargo, cada vez más ciudades en el mundo luchan por proporcionarla a sus habitantes dentro de los límites acordados como aceptables desde el punto de vista de la salud humana, por ejemplo, los recomendados por las Naciones Unidas establecidos por la Unión Europea en 2018 (Ehrler, Dustin y Saskia, 2019).

Por ello, si bien la contaminación en las zonas urbanas es un problema hoy en día, es de esperar que, con el aumento de la población en las ciudades y el incremento de la densidad de la población, estos problemas de calidad del aire aumenten más aún. Las emisiones relacionadas con el tráfico desempeñan un papel importante en este contexto. Se estima que un tercio del tráfico urbano tiene una motivación comercial (Ehrler et al., 2019).

Para mejorar la calidad del aire, muchas ciudades están empezando a cerrar sus centros para vehículos diésel y los equipados con motores de combustión. En España, destacan las medidas tomadas en grandes ciudades como Madrid y Barcelona en cuanto a las emisiones producidas por los vehículos privados, prohibiendo el acceso a determinadas zonas a aquellos coches que no lleven la Etiqueta ECO (podrán entrar híbridos de GLP, GNC y cero emisiones, eléctricos).

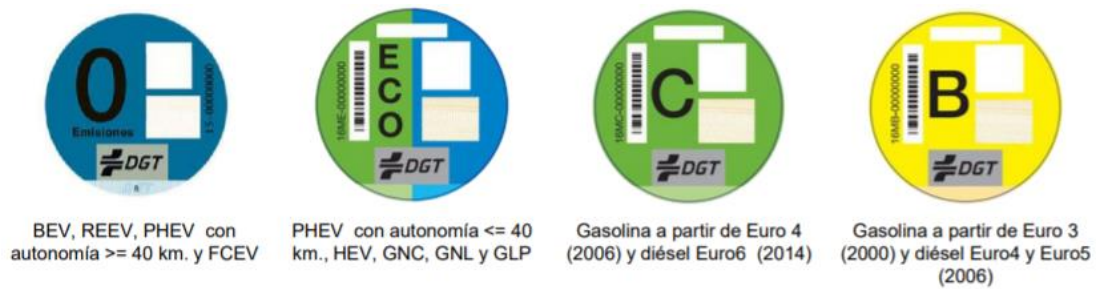


Figura 5. Etiquetas ecológicas. Fuente: Renault, 2017.

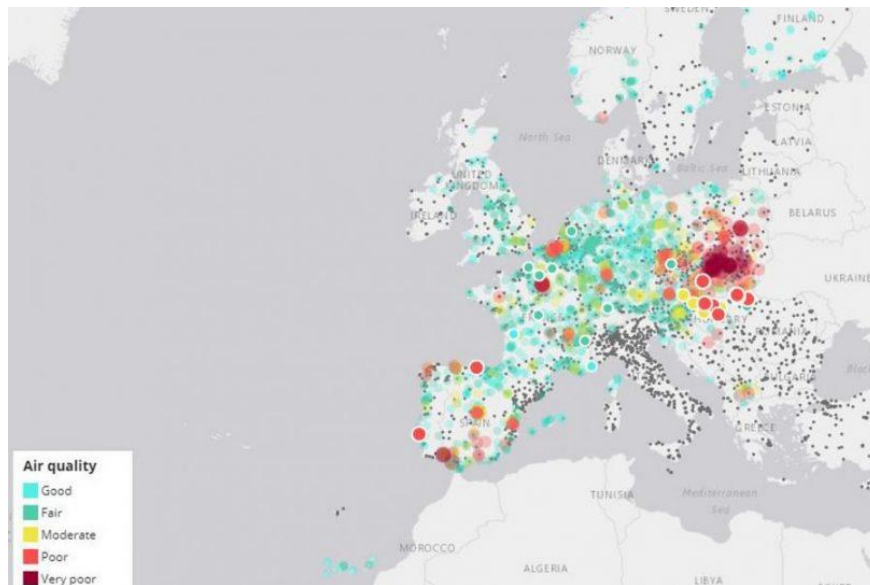


Figura 6. Mapa interactivo polución Europa. Fuente: *Interactive Map Shows Air Quality across Europe in Real Time | London Evening Standard*, 2017.

Las empresas deben enfrentarse a los desafíos de la innovación de nuevos productos, disminución de los ciclos de vida de los productos, la demanda de precios cada vez más bajos y estándares de calidad y servicio cada vez más elevados (García Arca et al., 2011). Esto ha obligado a muchas organizaciones a realizar una mejor gestión de la cadena de suministro. Hay un creciente interés por los aspectos sociales y medioambientales de los negocios internacionales. Introducir vehículos eléctricos en la cadena o red de suministro puede dar a las empresas ventajas competitivas, además de una buena imagen de empresa.

Las áreas en las que las emisiones de gases de efecto invernadero pueden ser reducidas significativamente son: operaciones de producción, transporte y reciclaje. La reducción de las emisiones de carbono en redes de suministro es una preocupación creciente, que requiere una investigación más profunda sobre cómo reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en todas las fases de la red de suministro. En este trabajo, se centrará la atención en la operación de transporte de última milla.

La utilización de vehículos eléctricos es una importante innovación en la cadena de suministro. Este hecho es remarcable ya que sus características permiten llevar a cabo una doble función: Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y la posibilidad de acceder a centros urbanos de grandes capitales europeas. Por ello, se pretende calcular cuánto se reducirían estas emisiones a la vez



que se averigua cómo beneficiaría estratégicamente a las empresas la utilización de vehículos que no tienen restricciones en las ciudades y pueden aportar mejoras estratégicas.

El comercio online está en constante aumento, lo que supone un incremento en la demanda de transporte tanto en envíos como en devoluciones. En el modelo de compra tradicional todo esto era realizado por los clientes, por lo que ambas cadenas de suministro difieren, además de afectar a sus huellas de carbono relativas. Las entregas del comercio online se caracterizan principalmente por entregas a particulares, lo cual puede resultar un problema a la hora de optimizar los tiempos de entrega y la reducción de emisiones. Existen otros tipos de entregas que pueden resultar más eficientes, que se profundizará en el apartado Antecedentes.

Es necesario desvincular el aumento del suministro de mercancías, la movilidad y la logística inversa del aumento de las emisiones relacionadas con el transporte. Esto sólo es posible si se mejora aún más la eficiencia del transporte y se aplican tecnologías de menor emisión.

La autonomía de los vehículos eléctricos fabricados en años anteriores suponía una limitación de cara a su implementación en la red de suministro de las empresas. Poco a poco el rango disponible por la capacidad de las baterías va aumentando gracias a nuevas tecnologías. Una suposición optimista era un alcance de aproximadamente 100 millas (160 km), que puede verse aún más restringido por el fenómeno conocido como “ansiedad por el alcance”, en el que la preocupación de los conductores por este alcance limitado lleva a una reducción de hasta un 50%. (Feng y Figliozzi, 2012). Debido a este motivo, se ha mantenido el uso de vehículos de combustión fósil.

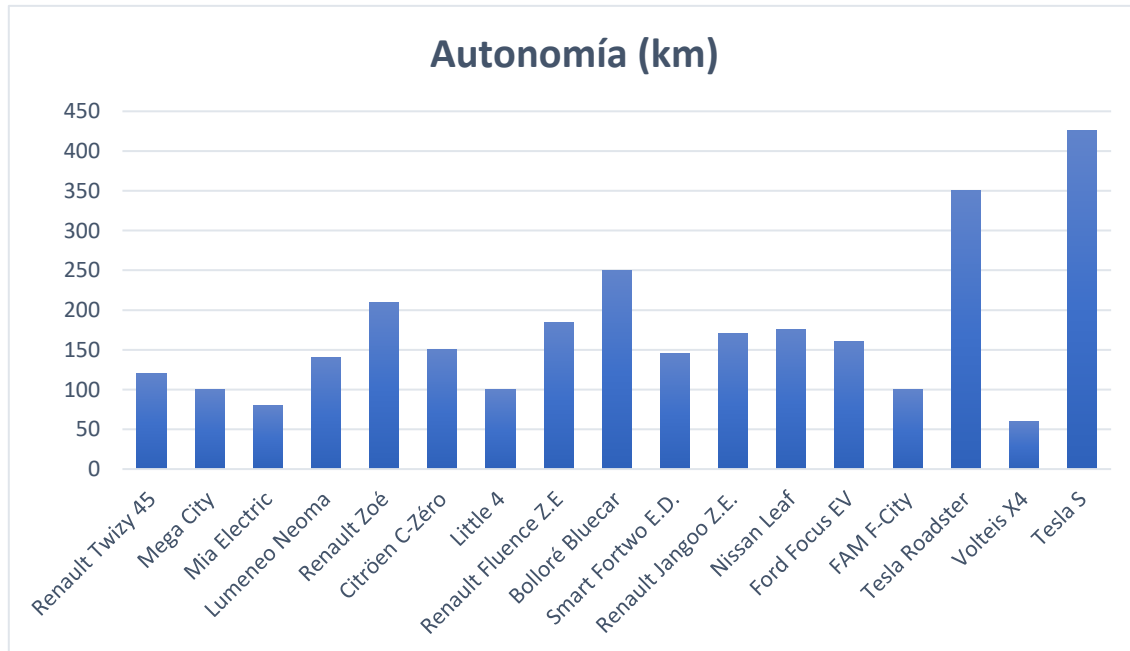


Figura 7. Autonomía vehículos eléctricos en el mercado. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del artículo Silva et al., 2018.

El presente trabajo final de grado se centra en evaluar si es posible su utilización en la distribución de productos en la última milla, es decir, desde una tienda, un depósito o un centro

de distribución al domicilio. Algunas investigaciones sugieren que este último eslabón de la cadena de suministro representa una gran proporción del CO<sub>2</sub> emitido total (J. Edwards et al., 2011). Se estudiará desde el punto de vista de un *e-commerce* de alimentos, que están todavía en desarrollo en Europa.

## 2. MOTIVACIÓN

La contaminación del aire a causa del CO<sub>2</sub>, uno de los principales Gases de Efecto Invernadero, se ha convertido en una preocupación para los organismos gubernamentales y el sector industrial en los últimos años.

La situación actual, donde las consecuencias ambientales y de salud son evidentes, obliga a pensar en soluciones para combatir el cambio climático. Se tiene un especial interés en el tema tratado debido a que la autora del presente TFG padecía asma de pequeña, una enfermedad respiratoria que se acentúa con la contaminación atmosférica.

La contaminación en las zonas urbanas es un problema hoy en día, y es de esperar que, con el aumento de la población en las ciudades y el incremento de la densidad de la población, estos problemas de calidad de aire en las ciudades aumenten aún más.

La utilización de vehículos de combustibles fósiles es uno de los principales factores contribuyentes en la emisión de CO<sub>2</sub>, por lo que es necesario buscar alternativas ecosostenibles. Además, la dependencia energética del petróleo y su agotamiento progresivo, obligan a buscar alternativas eficientes que permitan prescindir del uso del petróleo.

La aparición de vehículos de transporte 100% eléctricos, con una alta autonomía (400-550Km), permite un nuevo escenario para el transporte. El incremento de la capacidad de las baterías eléctricas también contribuye a la opción de utilizarlos como transporte en la última milla.

Los transportes de la empresa al consumidor (B2C), ya empiezan a tomar una parte no despreciable en el movimiento urbano de mercancías, ya que actualmente representan alrededor del 5% del total de los viajes de compras y podrían representar más del 15% en 2020 (González-Feliu et al., 2012).

Además, las nuevas generaciones, que han crecido con el uso de las tecnologías, están acostumbradas a utilizar Internet para muchos fines. Por ello, se prevé que aumentará el comercio online cuando la franja de edad de estas personas aumente, y con ello el volumen de transporte en las empresas. El sector de la logística se convierte en uno de los elementos imprescindibles para el éxito de las empresas de venta online.

Las investigaciones (Jahn et al., 2017) han demostrado que los costos de operación de los vehículos eléctricos tienen el potencial de ser menores en comparación con los vehículos de propulsión convencional con motor de combustión interna. Por lo tanto, junto a la cuestión de las emisiones relacionadas con la distribución de alimentos, los distribuidores de las ventas de alimentos online se enfrentan al reto de mejorar la eficacia de sus estructuras y desarrollar una logística innovadora con soluciones para poder seguir siendo rentables.

### 3. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación es conocer el impacto de los vehículos eléctricos en cuanto a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al integrarlos en la cadena de suministro, reemplazando los vehículos de combustión fósil.

Se pretende estudiar el impacto de los vehículos eléctricos en la distribución en la última milla de productos alimenticios vendidos en plataformas de e-commerce. Para ello, se investigará en el contexto descrito el desarrollo del comercio electrónico de los alimentos, además de los retos, requisitos previos y repercusiones de la utilización de vehículos eléctricos para las entregas urbanas, centrándose en las entregas de las compras de alimentos online.

Para el cálculo de la reducción de emisiones, se utilizará un modelo predefinido de ruta en el que se compararán las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por diferentes tipos de vehículos para el transporte de alimentos vendidos en plataformas de e-commerce.

Se intentará comprender la importancia del comercio online en España en los próximos años y en qué circunstancias el paso a los vehículos eléctricos es una alternativa para los proveedores de logística, y así conseguir que encuentre suficiente aceptación para contribuir a mejorar los niveles de calidad del aire en las ciudades a la luz de los cambios previstos en las formas de compra.

Junto a la cuestión de la reducción de las emisiones relacionadas con la distribución de alimentos, se estudiará la posible mejora en la estrategia de las empresas al incorporar vehículos eléctricos en su cadena de suministro, estudiando las alternativas para mejorar la eficacia de sus estructuras y desarrollar una logística innovadora con soluciones para poder seguir siendo rentables y obtener beneficios.

## 4. ANTECEDENTES

En este apartado se ha recopilado la información obtenida de diferentes artículos en los que se explica cómo se ha llegado a la situación actual de los vehículos eléctricos en la distribución de la última milla: políticas que han surgido para combatir el cambio climático, la incorporación de medidas ecológicas en las empresas, el aumento del comercio electrónico y su implicación con el transporte.

### 4.1 Emisiones de CO<sub>2</sub>

Hasta ahora ha habido muchos intentos de llegar a un acuerdo a nivel mundial en cuanto a reducir emisiones de CO<sub>2</sub> para combatir el cambio climático. Este reto al que se enfrenta el ser humano solo puede resolverse desde una perspectiva global.

Las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 que contiene los Objetivos de Desarrollo Sostenible, una serie de metas comunes para proteger el planeta y garantizar el bienestar de todas las personas. Estas metas comunes necesitan la implicación activa de las personas, las empresas, las administraciones y los países de todo el mundo.

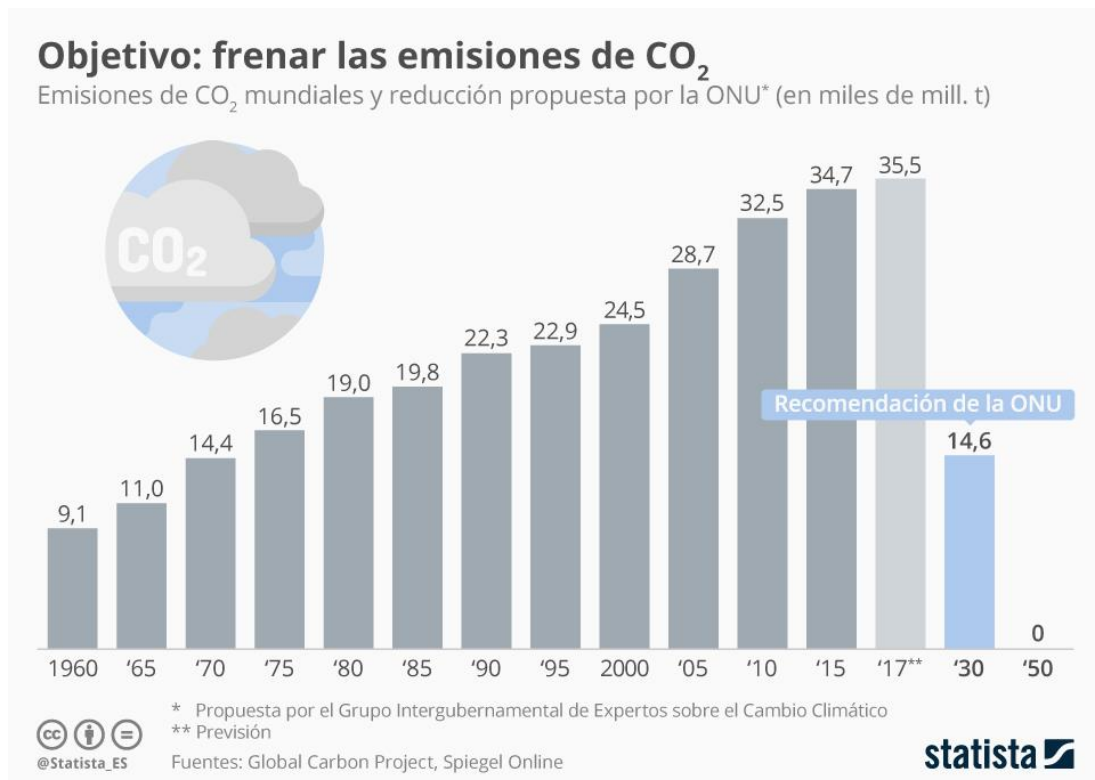


Figura 8. Niveles CO<sub>2</sub> comparado con la recomendación ONU. Fuente: ¿Cuánto Hay Que Reducir Las Emisiones de Dióxido de Carbono Para Frenar El Cambio Climático? Statista, 2018.

#### 4.1.1 Desarrollo sostenible

El término de desarrollo sostenible fue normalizado por primera vez en el documento conocido como Informe Brundtland, elaborado en 1987 por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, promovida por Naciones Unidas (Mejías et al., 2011). En él se define el desarrollo sostenible como: *“La capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”*. En este informe se contrasta la postura del desarrollo económico junto con el de sostenibilidad ambiental.

La Unión Europea tiene la voluntad de promover el cambio hacia un transporte más limpio, tanto por la necesidad de un desarrollo sostenible y cumplir los Objetivos de la ONU, como reducir su dependencia energética, siendo el uso de vehículos eléctricos una pieza clave para el desarrollo de la movilidad sostenible.

#### 4.1.2 Mercado de CO<sub>2</sub>

Por otro lado, cabe destacar el Protocolo de Kioto de 1997, un protocolo de la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En él se acordaron medidas para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En su artículo 17 se establece un nuevo concepto que permite tanto a los países como a las empresas optimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> estableciendo un esquema de comercio de emisiones (Pinto C y Am, 2012).

En el mercado de CO<sub>2</sub> se realiza una doble subasta continua, en la que los compradores anuncian y aceptan compra y venta en cualquier momento. Al final de cada periodo, las emisiones de cada compañía son verificadas. Si éstas son mayores que la cuota impuesta, la diferencia puede compensarse comprando créditos en el mercado. Y si son menores, la empresa puede vender créditos de CO<sub>2</sub> en el mercado y obtener beneficios. De esta forma se puede reducir la polución global, aunque una empresa sobrepase los límites. Además, se pretende que de esta forma se busquen nuevos métodos, nuevas tecnologías para que emitir gases de efecto invernadero no salga caro, siendo el transporte con vehículos eléctricos uno de estos puntos a desarrollar.

## 4.2 Las empresas

### 4.2.1 Responsabilidad Social Corporativa

En los últimos años ha aumentado el interés tanto en el ámbito académico como en el empresarial por la Responsabilidad Social Corporativa. Esta es la forma de actuar que adoptan las empresas, con actuaciones en el ámbito económico social, en la calidad de vida, en inversión social y también en la preservación del medio ambiente. La creciente concienciación acerca de las emisiones producidas por los combustibles fósiles ha hecho que las empresas que se han iniciado tímidamente en el proceso de implantación de la Responsabilidad Social Corporativa implementen soluciones para reducir sus emisiones, aunque la elección del uso de vehículos eléctricos para el transporte aún no sea una medida muy común para las empresas.

La principal dificultad para la extensión y generalización de la Responsabilidad Social Corporativa en toda la cadena de suministro parece estar asociada a cierta percepción de incompatibilidad entre la eficiencia empresarial (en particular, en aspectos de flexibilidad y costes de los procesos productivos/logísticos) y la implantación de las actividades sostenibles (García Arca et al., 2011); en definitiva, la dificultad para materializar la correcta integración de los pilares social y medioambiental con el económico. Es cierto que el desembolso inicial para incorporar vehículos eléctricos en lugar de vehículos de combustión es significativamente mayor, pero presentan bajos costes de mantenimiento y menores gastos de funcionamiento por lo que a la larga pueden ser la mejor opción.

#### 4.2.2 Cadena de Suministro Verde

Una Cadena de Suministro es una red de organizaciones implicadas en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios en las manos del consumidor último.

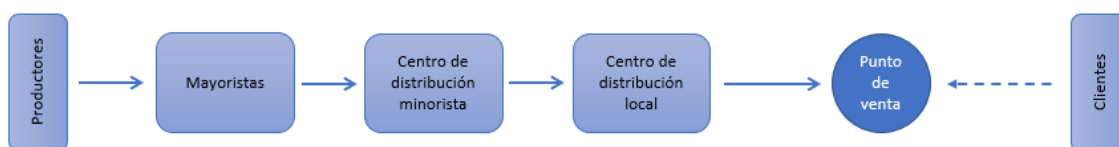


Figura 9. Cadena de Suministro convencional de alimentos frescos. Fuente: Ehrler et al., 2019.

Es importante integrar la reducción de los gases de efecto invernadero en la cadena de suministro. Aquí entra el concepto de Cadena de Suministro Verde, que implica ir más allá de lo económico. El Informe Brundtland anteriormente mencionado comienza a aproximarse a lo que se conoce actualmente como Cadena de Suministro Verde: “La gestión sostenible de la Cadena de Suministro es la gestión de los flujos de material, información y capital, así como de la cooperación entre compañías a lo largo de la cadena que buscan lograr objetivos en las tres dimensiones del desarrollo sostenible, económica, medioambiental y social, teniendo en cuenta los requerimientos de los clientes y los demás stakeholders” (Mejías et al., 2011).

En el diseño de una Cadena de Suministro Verde, se debe considerar la inversión inicial en equipo, las técnicas de protección del medio ambiente, las necesidades financieras y las consecuencias para el funcionamiento del sistema (Pinto C y Am, 2012).

Las áreas de una empresa en las que las emisiones de efecto invernadero pueden ser reducidas significativamente son producción, transporte y reciclaje, este TFG se centrará en el transporte de la última milla. Es importante, además, que se integren las decisiones relacionadas con el Mercado de carbono. A la hora de estudiar las emisiones, este trabajo se centra en el área de transporte, por lo que se dejarán de lado la producción y el reciclaje a la hora de estudiar las emisiones.

Los principales puntos para tener en cuenta para reducir la emisión de gases de efecto invernadero en la cadena de suministro son dos, el tipo de transporte a utilizar y la tecnología

utilizada para ello, ya que cuanto más se invierta en ella, más se reducen las emisiones (Pinto C et al., 2012). La introducción de vehículos eléctricos en la Cadena de Suministro para el transporte de mercancías sirve para ayudar a que ésta sea más sostenible y así poder acercarse a una Cadena de Suministro Verde. Se están desarrollando continuamente nuevas tecnologías para el transporte eléctrico, sobre todo con relación a las baterías para aumentar su autonomía, y cada vez se consiguen mejores resultados.

Las decisiones relativas a la ubicación y la capacidad de las instalaciones también deben integrarse con las decisiones relativas a la inversión ambiental, ya que esta inversión puede afectar a la protección del medio ambiente. Las distancias entre diferentes puntos determinarán el posible uso de determinados vehículos.

Algunas compañías también ven una Cadena de Suministro Verde como significado de mantener una imagen pública positiva. Esta mejora en la reputación al promover mejoras en el medio ambiente lleva a muchas empresas a tomar medidas en su Cadena de Suministro, ya que así la percepción que se tendrá de ellas será mucho más positiva. Por lo que la implementación de vehículos eléctricos en el transporte de mercancías puede beneficiar a las empresas al dar una imagen de concienciación con el medio ambiente.

#### 4.2.3 El transporte

El aumento de la conciencia ambiental y los requisitos de calidad del aire provocan la necesidad de desvincular el aumento del suministro de mercancías, la movilidad y la logística inversa del aumento de las emisiones relacionadas con el transporte. El aumento de densidad de población en las ciudades está aumentando año a año, al igual que la compra online como verá a continuación.

El impacto del transporte en el medio ambiente puede analizarse en cada fase de la red de suministro desde el transporte de las materias primas de los proveedores a las plantas de producción hasta el transporte de los productos acabados a los centros de distribución, minoristas, consumidores y centros de reciclaje. Para hacer más sencillo el estudio de las emisiones en la Cadena de Suministro, se centrará en el transporte de productos acabados en la última milla.

Una de las medidas más básicas para maximizar la eficiencia y reducir las emisiones es el aprovechamiento del espacio en los vehículos. La baja utilización de éste es una de las principales causas del aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Éstas se calculan según el tipo de transporte, la distancia de viaje y la masa transportada. Por ello, las emisiones pueden reducirse consolidando la carga y maximizando la utilización. Un ejemplo muy claro es IKEA, con sus principios de eficiencia logística de su cadena de suministro: embalajes eficientes (planos), reducción del precio de los transportes aprovechando al máximo su capacidad, reducción del impacto sobre el medio ambiente y mejora de la coordinación entre sus etapas.

Casi el 2% del CO<sub>2</sub> emitido en su cadena de suministro se genera en el transporte de mercancía (García Arca et al., 2011). Participa en grupos de trabajo mundiales para buscar tecnologías eficientes de consumo de combustible y reducción de emisiones. Con su método de



Packaging Logistics, trata de integrar el diseño de los envases y embalajes desde las primeras etapas del diseño del producto, intentando maximizar la eficiencia de la carga de sus camiones.

El estudio del presente TFG considera que la carga está consolidada en los vehículos eléctricos, para obtener mejores resultados. En los *e-commerce* de alimentos se deberían cargar al máximo los vehículos y a partir de ahí calcular las rutas posibles. Con el fin de estar preparados para futuras restricciones y legislaciones, proveedores de logística como DHL, UPS, FedEx, pero también transportistas como Meyer & Meyer en Alemania prueban cómo pueden integrar mejor los vehículos eléctricos en sus sistemas de distribución para estar preparados para estos potenciales desarrollos futuros mientras que cumplen al mismo tiempo con las expectativas de los clientes (Ehrler et al., 2019).

#### 4.3. El comercio electrónico

El comercio electrónico (*e-commerce*) se puede definir en un sentido amplio, como la compra y venta de bienes a través de Internet, por plataformas online que facilitan las transacciones mostrando productos y permitiendo su pago y entrega (Gómez Gómez et al., 2004).

Las nuevas generaciones, que han crecido con el uso de las tecnologías, están más acostumbradas a utilizar Internet para muchos fines. Por ello, se prevé que aumentará mucho más el comercio online cuando la franja de edad de estas personas aumente, y con ello el volumen del transporte en las empresas. El auge del comercio electrónico ha potenciado el sector de la logística y además la ha convertido en uno de los elementos imprescindibles para el éxito de las empresas de venta online.

Fijándonos en países como Reino Unido y Alemania, y como España está a la cola en el conjunto de Europa (Fig. 9) también podemos prever un aumento de la venta por internet. En estos países es muy común la compra online de cualquier producto, siendo unos de los mayores mercados europeos de venta a distancia (Ehrler et al., 2019).

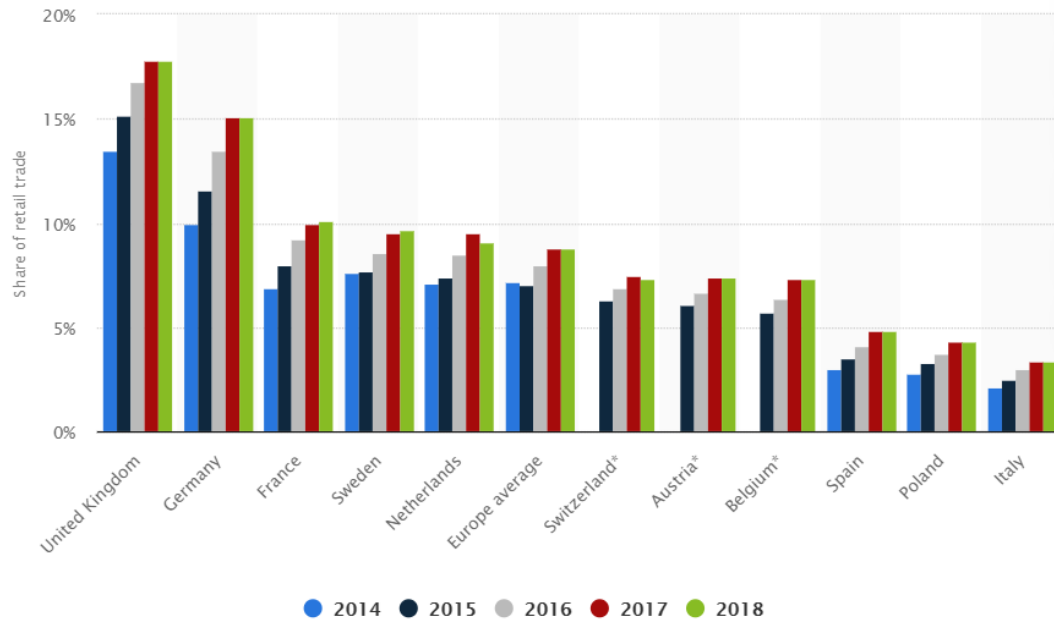


Figura 10. Tasa de crecimiento de las ventas online en Europa 2015/2016 en porcentaje. Fuente: Online Share of Retail Trade in Countries 2018 Statista, 2018.

En España el comercio online no está todavía tan desarrollado, pero es cuestión de tiempo. Para el consumidor, suponen muchas ventajas esta nueva forma de hacer la compra (Gómez Gómez et al., 2004):

- Emplear menos tiempo para hacer la compra.
- No tener que desplazarse.
- Mayor posibilidad de elección, al no tener el espacio limitado.
- Mayor información sobre los productos.
- Flexibilidad en los medios de pago.
- Comodidad y flexibilidad en los horarios de entrega.
- Conocimiento más amplio sobre las promociones.
- Control detallado de compras anteriores.
- Comunicación directa con el establecimiento.
- Servicios de valor añadido (ofertas y promociones a medida, etc.).
- La posibilidad de obtener rápidamente el producto preciso que necesita, sin estar limitado a los stocks actuales del distribuidor local.

Además, en un mundo cada vez más orientado hacia el comercio electrónico y la vida digital, si las empresas no se preparan adecuada y urgentemente para poder entrar en esta nueva forma de operar, es probable que cuando se vean en la necesidad de hacerlo encuentren un mercado saturado en el que sea mucho más difícil conseguir una implantación con éxito y las posibilidades para operar en el mercado estarán seriamente disminuidas. La tecnología no debe convertirse en un obstáculo, sino en una oportunidad.

## 4.3.1 B2C

Dentro del comercio electrónico, existen variantes. Este trabajo se centra en el Business to Consumer (B2C) (e-tail) o comercio electrónico destinado a vender productos y servicios al consumidor final. Se pueden encontrar dos tipos de empresas que comercializan a través de internet: minoristas y fabricantes. El comercio electrónico B2C representa una oportunidad de hacer a las organizaciones más ágiles, flexibles y eficientes, incrementando de esta manera la productividad. Esto supone un reto para el sector de la logística.

Si bien el comercio electrónico entre empresas y consumidores (B2C) se ha ido expandiendo, los consumidores británicos se han ido concienciando cada vez más con el medio ambiente (J. Edwards et al., 2011), y muchos minoristas han ido reforzando su compromiso con el desarrollo sostenible. Las consideraciones ambientales son ahora primordiales en los procesos de adopción de decisiones de muchas empresas.

Como se ha comentado anteriormente, el trayecto desde una actividad comercial, un almacén, un depósito o un centro de distribución hasta un lugar cercano al lugar de consumo, ya sea un domicilio o puntos de recepción cercanos se conoce como última milla, y será el recorrido en el que se basarán los cálculos para estudiar la viabilidad de la incorporación de vehículos eléctricos en el transporte de venta online. A su vez, el estudio se realizará fijándose en la última milla de un e-commerce de alimentos.

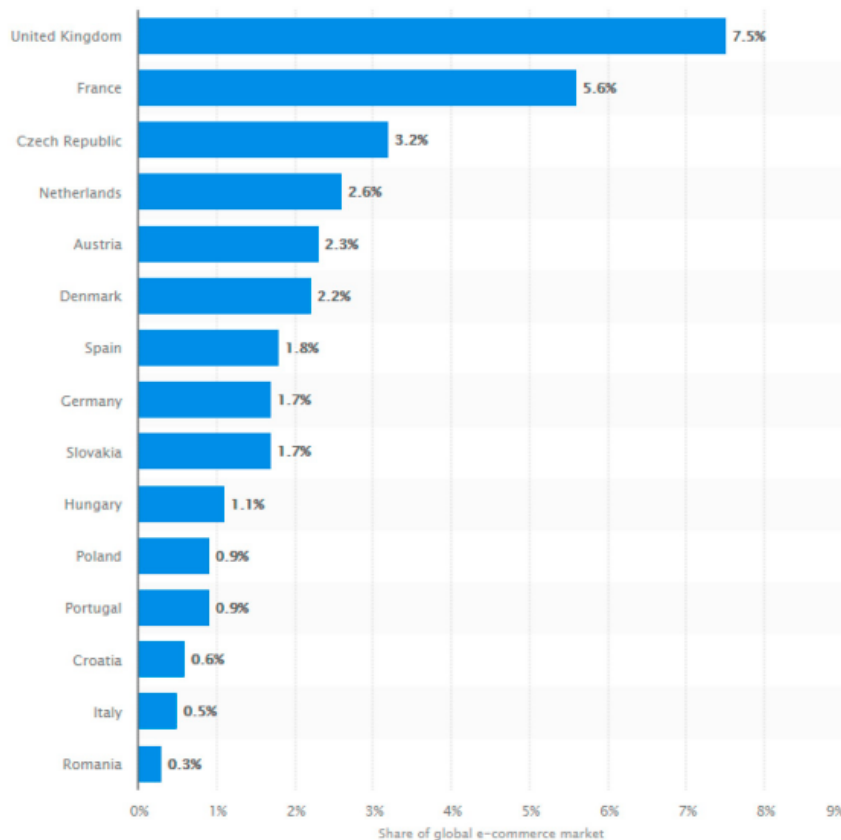


Figura 11. Cuota de mercado online de las ventas de alimentos en Europa 2017. Fuente: Value Share of Online Grocery Shopping Market in EU 2017 Statista, 2017.

El comercio online de alimentos es un segmento de mercado que aún está surgiendo en Europa (Ehrler et al., 2019). En la Figura 10 se observa que la cota de mercado para la venta en línea de productos de alimentación en España se sitúa en 1,8%, mientras que los países que van en cabeza tienen una cota de mercado de 7,5% (Gran Bretaña) y 5% (Francia). Un estudio publicado por Forrester Research en 2018 espera que el comercio de alimentos sea una de las categorías de venta al por menor online de más rápido crecimiento y el gigante de la venta al por menor Carrefour tiene como objetivo en su reciente plan de desarrollo de más del 20% de sus ventas totales para 2022, desde un nivel del 8% a principios de 2018 (Ehrler et al., 2019).

#### 4.3.2 España

En España, el comercio electrónico de alimentos no despegó por la competencia que supone la tienda física. La diferencia con respecto a otros países europeos, según un estudio de Asociación Española de Distribuidores, Autoservicios y Supermercados (Asedas) y la Universidad Complutense de Madrid (UCM), se debe a que en España hay un gran número de supermercados de proximidad, que permiten una compra más frecuente, rápida y con precios bajos. Además, los consumidores se sienten más cómodos al ir a la tienda física (CESCE, 2019).

Aun así, en cuatro años se ha doblado hasta involucrar ya a más de cinco millones de hogares en España. Según los datos del Barómetro del Comercio Electrónico en España, el 19% de los compradores online, ya compra alimentos frescos y bebidas por internet (CESCE, 2019).

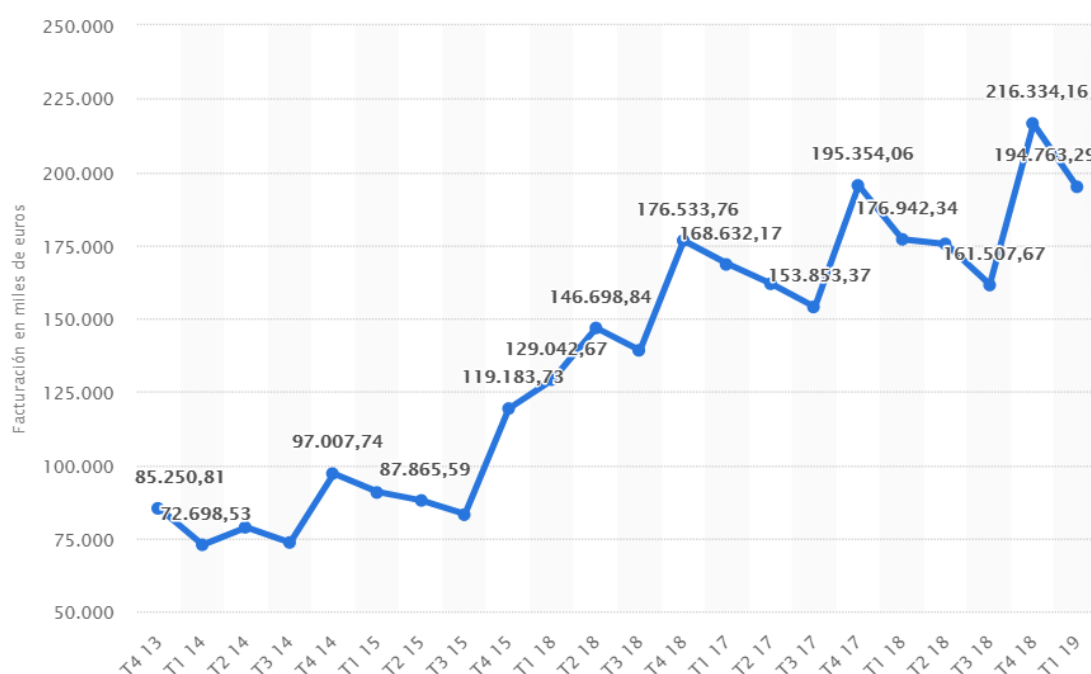


Figura 12. Volumen de negocio del comercio electrónico en el sector alimenticio en España del cuarto trimestre de 2013 al primer trimestre de 2019. Fuente: Statista, 2020.

Las compras online no se realizan de manera homogénea en todas las ciudades de España. En la Figura 12, se representa el porcentaje de población que había comprado productos de alimentación a través de Internet en España en los tres meses previos a su participación en una encuesta publicada en mayo de 2019, según tamaño de población.

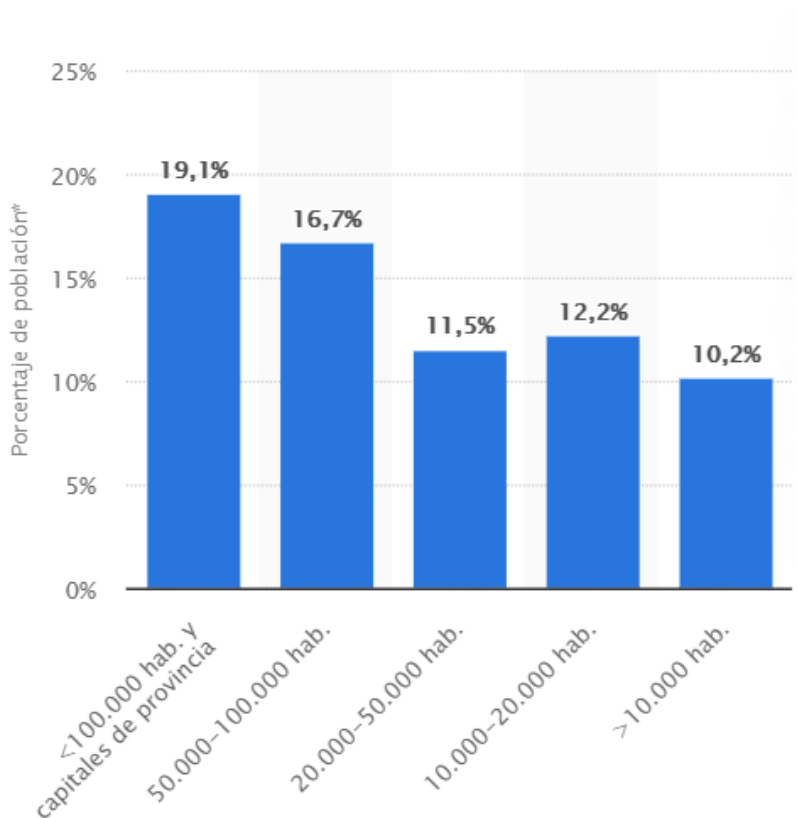


Figura 13. Porcentaje de población que compró productos de alimentación a través de Internet en España en 2019, por tamaño de población. Fuente: Statista, 2020.

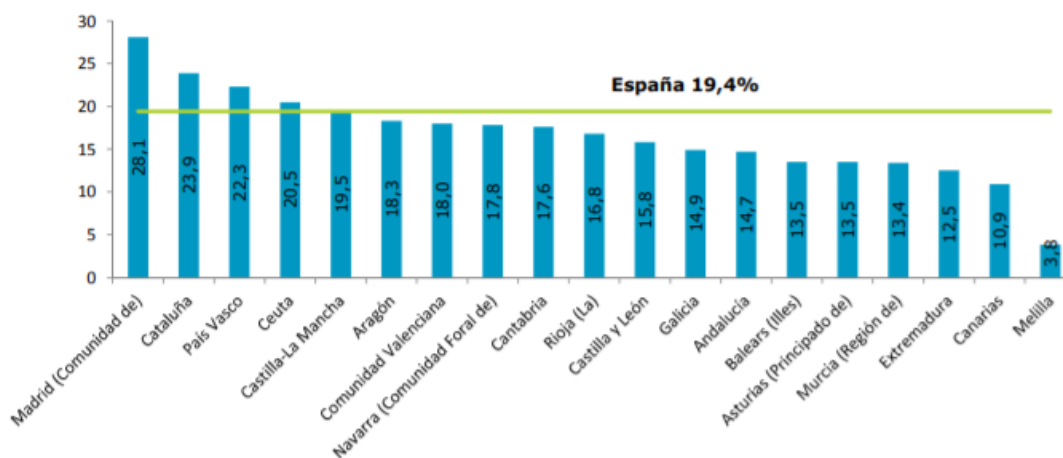
Como se puede observar (Fig.12), el 19,1% de los residentes en poblaciones de más de 100.000 habitantes y en capitales de provincia había adquirido alimentos a través de Internet. En el otro extremo, el porcentaje de residentes en localidades con menos de 10.000 habitantes superó ligeramente el 10%.

El ONTSI (Observatorio nacional de las telecomunicaciones y de la SI) publica el Dossier de Indicadores de Comercio Electrónico, que muestra los datos referidos al comercio electrónico en España, por comunidades autónomas y los países miembros de la Unión Europea, provenientes de las fuentes más relevantes (INE y Eurostat). Con estos datos se puede ver el porcentaje de personas que han comprado alimentos por Internet en los últimos 12 meses, por cada Comunidad Autónoma (Tabla 1 y Fig. 13).

**Personas que han comprado por Internet por tipo de producto adquirido (% personas que han comprado por Internet en los últimos 12 meses) - Productos de alimentación y otros de consumo no duraderos**

Comunidades Autónomas	2015	2016	2017	2018
Andalucía	11,6	12,1	11,1	14,7
Aragón	14,6	15,9	17,2	18,3
Asturias (Principado de)	14,8	18,2	16,3	13,5
Balears (Illes)	15,2	9,9	13,3	13,5
Canarias	7,4	7,4	8,6	10,9
Cantabria	11,1	15,2	16,2	17,6
Castilla y León	9,0	11,6	12,0	15,8
Castilla-La Mancha	10,7	12,8	15,6	19,5
Cataluña	15,1	19,0	19,1	23,9
Ceuta	24,4	17,8	9,3	20,5
Comunidad Valenciana	10,2	13,4	11,2	18,0
Extremadura	12,2	11,8	11,3	12,5
Galicia	15,3	13,8	14,3	14,9
Madrid (Comunidad de)	19,1	20,7	24,4	28,1
Melilla	0,7	0,0	8,5	3,8
Murcia (Región de)	13,9	12,3	16,0	13,4
Navarra (Comunidad Foral de)	13,7	16,2	16,6	17,8
País Vasco	19,1	17,6	24,7	22,3
Rioja (La)	12,6	16,6	11,3	16,8
España	14,0	15,5	16,3	19,4

Tabla 1. Personas que han comprado alimentos por Internet por Comunidad Autónoma. Fuente: ONTSI, 2019.



Datos 2018

Figura 14. Personas que han comprado alimentos por Internet por Comunidad Autónoma. Fuente: ONTSI, 2019.

La Comunidad de Madrid está en primera posición con un 28,1% de personas, siendo Melilla la última con un 3,8%. Esto concuerda con los porcentajes de personas que compran alimentos por Internet según el tamaño de la población, anteriormente visto en la Figura 12.

#### 4.3.3 Cadena de suministro de venta online

Con la importancia que está adquiriendo la venta al por menor online y con algunos minoristas que proclaman los beneficios ambientales de las compras en línea en comparación con las compras convencionales, es importante poder determinar las huellas ambientales relativas de los canales de compra alternativos. Investigaciones anteriores (Weber et al., 2009) han tendido a comparar la entrega en la última milla con el comportamiento de los compradores convencionales.

Las cadenas de suministro de alimentos frescos en línea y de alimentos no perecederos varían de las cadenas de suministro fuera de línea (Fig. 11). En la cadena de suministro convencional para alimentos frescos, las mercancías viajan desde el productor a través del mayorista hasta los centros de distribución al por menor, desde donde se envían a los puntos de venta locales. En la cadena de suministro en línea, se pueden reducir los pasos entre el productor y el cliente final. Los clientes compran y reciben sus mercancías directamente de los productores, de forma similar al puesto de mercado tradicional, o de los mayoristas o centros de distribución minorista. Además de las diferencias entre las cadenas de suministro en línea y fuera de línea, las cadenas de suministro de las ventas de comestibles en línea varían según el país, el tipo de bienes (frescos y no perecederos) y la organización (Ehrler et al., 2019).

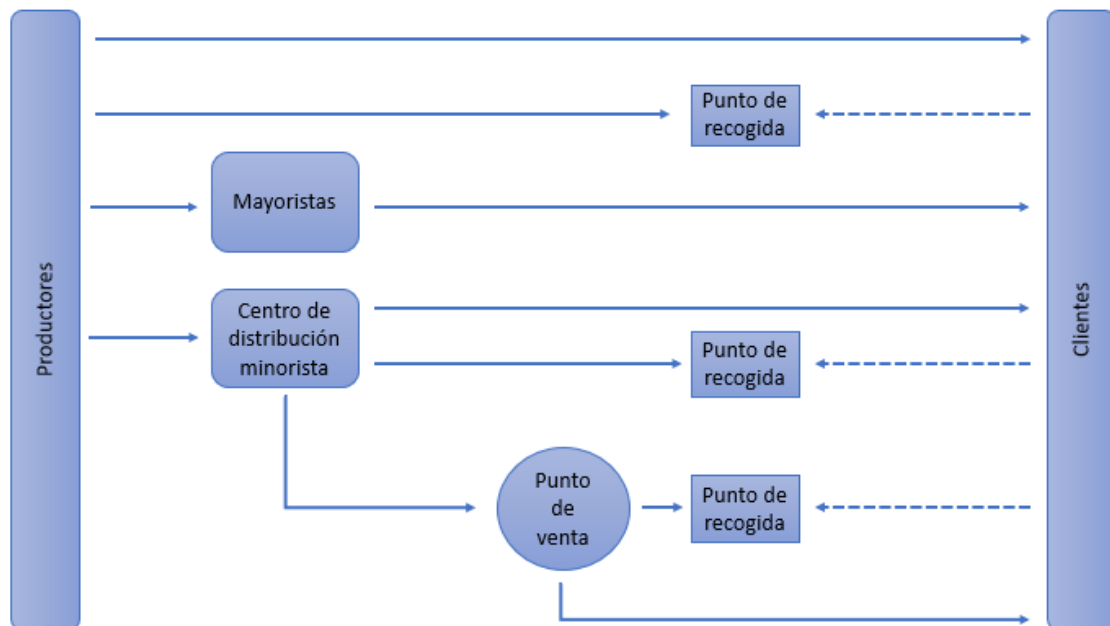


Figura 15. Cadena de suministro de venta online de alimentos frescos. Fuente: Ehrler et al., 2019.

En el modelo de compra tradicional, los clientes realizan la mayor parte del trabajo intensivo en mano de obra (como la recogida de pedidos y el transporte de la mercancía a casa), mientras que en la compra online, los minoristas deben entregar los pedidos personalizados en lugares muy dispersos dentro de un margen de tiempo relativamente estrecho.

Entre el 35 y el 45% de la ocupación total de las carreteras es debido al movimiento urbano de mercancías. Los movimientos de consumidores finales representan alrededor del 45-

50% pero han sido menos estudiados ya que se asocian tanto viajes personales como mercancías. Los flujos B2C empiezan a tomar una parte no despreciable, ya que actualmente representan alrededor del 5% del total de los viajes de compras y podrían representar más del 15% en 2020 (González-Feliu et al., 2012).

Al comparar las compras convencionales con la entrega a domicilio, ninguno tiene una ventaja absoluta en cuanto al CO<sub>2</sub>, pero se puede decir que la operación de entrega a domicilio es probable que genere menos CO<sub>2</sub> que el típico viaje de compras (J. B. Edwards et al., 2010). Hay que tener en cuenta distintas variables: el número de artículos adquiridos, la elección del modo de viaje y la voluntad de combinar las compras con otras actividades y de agrupar las compras en el menor número posible de viajes o transacciones en línea se muestran como factores críticos. Es importante ser consciente en todo momento de las consecuencias de CO<sub>2</sub> que tienen la elección de transporte y el modo de compra elegido en cada momento.

Unos pocos minoristas en línea afirman que las compras por Internet son buenas para el medio ambiente (J. Edwards et al., 2011). Por lo general, basan sus reivindicaciones en la sustitución de viajes en furgoneta con numerosos pedidos de clientes, y por lo tanto aprovechando la consolidación de la carga, para los viajes en coche personal hacia y desde las tiendas. Estos últimos generalmente usan mucha más energía y emiten más CO<sub>2</sub> por tonelada-km de movimiento de carga que furgonetas de reparto a domicilio. Sin embargo, varios autores han considerado los efectos ambientales más amplios de la venta al por menor en línea y cuestionan si produce un beneficio ambiental neto.

Las posibles desventajas ambientales de la venta al por menor en línea pueden resumirse de la siguiente manera (J. Edwards et al., 2011):

- Aumento de las entregas a domicilio, muchas de las cuales son relativamente ineficientes.
- Pedidos más pequeños de los clientes a lugares de entrega muy dispersos geográficamente.
- Tendencia de los clientes a comprar artículos separados de varias empresas diferentes (cada una de ellas requiere una entrega separada).
- Necesidad de clasificación adicional para combinar los pedidos de varios clientes antes de la entrega.
- La sustitución de viajes puede generar viajes adicionales cuando el tiempo ahorrado por las compras en línea se convierte en otras actividades fuera del hogar.
- La navegación por Internet anima a la gente a ir a comprar compras adicionales.
- Las mercancías pueden proceder de lugares más lejanos, lo que requiere un mayor transporte.

Las conclusiones del estudio (J. B. Edwards et al., 2010) revelaron que la cantidad de energía consumida en los viajes de ida y vuelta del cliente a la tienda era mayor que la energía utilizada en todos los demás transportes asociados a la producción y distribución del pan.

Análogamente, (Weber et al., 2009), al comparar el uso de la energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la distribución tanto en línea como convencional de una memoria flash



electrónica, comprobaron que aproximadamente el 65% del total de las emisiones de la venta al por menor tradicional procedía del viaje del cliente a la tienda.

Numerosos factores influyen en las emisiones de los envíos a domicilio. Entre ellos se incluyen: las densidades de entrega, la distancia y la naturaleza de la ronda de entrega, el tipo de vehículo utilizado y el tratamiento de las entregas y devoluciones fallidas. En promedio, cuando un cliente compra menos de 24 artículos por viaje de compras (o menos de siete artículos para los usuarios de autobuses) es probable que la entrega a domicilio emita menos CO<sub>2</sub> por artículo comprado (J. B. Edwards et al., 2010).

Estos estudios están realizados con vehículos de combustión fósil, por lo que si añadimos el uso de vehículos eléctricos, las ventajas en cuanto a emisión de CO<sub>2</sub> aumentarán considerablemente. Las empresas de venta online podrían aplicar medidas, como por ejemplo, maximizar la densidad de entregas y aumentar el uso de vehículos eléctricos, para mejorar la eficiencia en materia de CO<sub>2</sub> de sus operaciones logísticas y obtener una ventaja ambiental más clara.

#### 4.3.4 Tipos de entrega

Existen tres modalidades de entrega de la “última milla”: entrega a domicilio, caja de recepción y puntos de recogida y entrega (Wang et al., 2014). La entrega a domicilio consiste en que los mensajeros envían las mercancías a las puertas de los clientes, reciben sus firmas y van al siguiente domicilio. Es el modo de entrega más extendido de la última milla debido a su comodidad para el cliente (Fig. 12). Pero la poca eficiencia de operación hace difícil hacer frente a pedidos masivos, ya que los mensajeros tienen que ir puerta por puerta, además de perder mucho tiempo en esperar a los clientes.



Figura 16. Entrega a domicilio. Fuente: Elaboración propia.

Hay tres tipos de cajas de recepción (Fig. 13):

- Cajas de recepción independientes instaladas en el garaje o patio de la casa del cliente.
- Cajas de recepción equipadas con un mecanismo de acoplamiento y se recuperará después de que se retire la mercancía que está dentro.
- Caja de recepción compartida que se instala cerca de los clientes para su uso compartido.

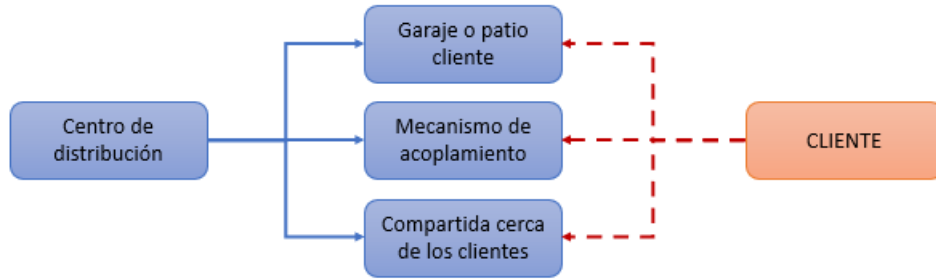


Figura 17. Entrega a cajas de recepción. Fuente: Elaboración propia.

Los mensajeros ponen los bienes en los buzones, y los clientes cogen sus paquetes en cualquier momento usando contraseñas enviadas por e-mail. Así, los mensajeros se liberan de la limitación del tiempo mientras la eficiencia del reparto es mejorada.

Hay que tener en cuenta el tipo de vivienda que tenemos en España, ya que no es común disponer de un garaje propio ni patio. Los puntos de recogida y entrega se refieren a tiendas, propiedades de parcelas y otras instituciones que pertenecen o cooperan con empresas de transporte urgente como el lugar donde los clientes vienen a recoger los bienes. Los mensajeros sólo escanean y ponen las mercancías en ciertos lugares en los CDPs (puntos de recogida y entrega) (Fig. 14). La eficiencia de la operación mejora sustancialmente, porque un CDP podría servir a varios puntos de entrega al mismo tiempo.

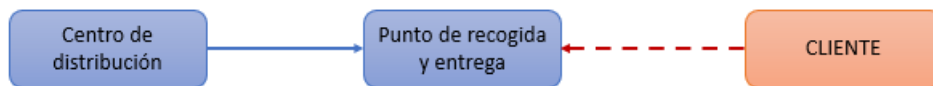


Figura 18. Entrega a puntos de recogida y entrega. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las entregas en el último kilómetro, también pueden observarse varias variantes: la gestión de las entregas a domicilio se integra en un subcontratista o se entrega a un subcontratista, aunque en la práctica también se encuentran sistemas logísticos mixtos.

La entrega de la última milla es uno de los obstáculos para el desarrollo de la entrega del comercio electrónico. Por eso el establecimiento de puntos de recogida es una posible solución a estos altos costos de la distribución urbana. La entrega a domicilio es la más extendida, por lo que en este trabajo se toma como punto de partida para los posteriores cálculos. Esto supone coordinar cada vez más entregas.

#### 4.3.5 Tasa de fallos

Es común que la gente no se encuentre en casa durante el día laboral, que es cuando se hacen la mayoría de las entregas a domicilio. Prologis (2008) informó de que el número de

hogares que trabajan aumentó en un 22%. entre 1992 y 2006 (J. B. Edwards et al., 2010). En consecuencia, los transportistas de paquetes deben hacer frente a la creciente incidencia de entregas fallidas.

Las tasas reales de entregas fallidas entre los transportistas varían considerablemente. Esto requiere que los transportistas pasen una segunda o tercera vez y crea un desorden en su organización y una pérdida de tiempo. Una pérdida de tiempo implica costos adicionales y mayores emisiones.

Beveridge (2007), un destacado consultor en el mercado de la entrega a domicilio con amplia experiencia en la gestión de redes de entrega en el último kilómetro, indicó que la tasa oscilaba entre el 2% y el 30%, dependiendo de las políticas de los transportistas en relación a cómo lidian con el "nadie en casa". Si saben que ese cliente suele no estar en casa, suelen pedir un segundo lugar donde poder dejar el paquete (vecinos, caseta jardín...). Si piden firma, no pueden hacer esto y tendrán un ratio de entregas fallidas mucho más alto. Un representante de un importante minorista de comestibles estimó que el 30% de las entregas a domicilio fallaban la primera vez, lo que generaba entregas repetidas ((J. Edwards et al., 2011).

#### 4.3.6 Distribución

Es importante tener en cuenta las distancias que tendrán que recorrer los vehículos. Además, si se incorporan vehículos eléctricos, se debe estudiar con especial atención debido a la autonomía más limitada que poseen. La cadena de distribución desde un centro de distribución no será igual que desde un supermercado, por ejemplo. En estos diagramas se muestran las principales diferencias (Fig. 15 y 16):

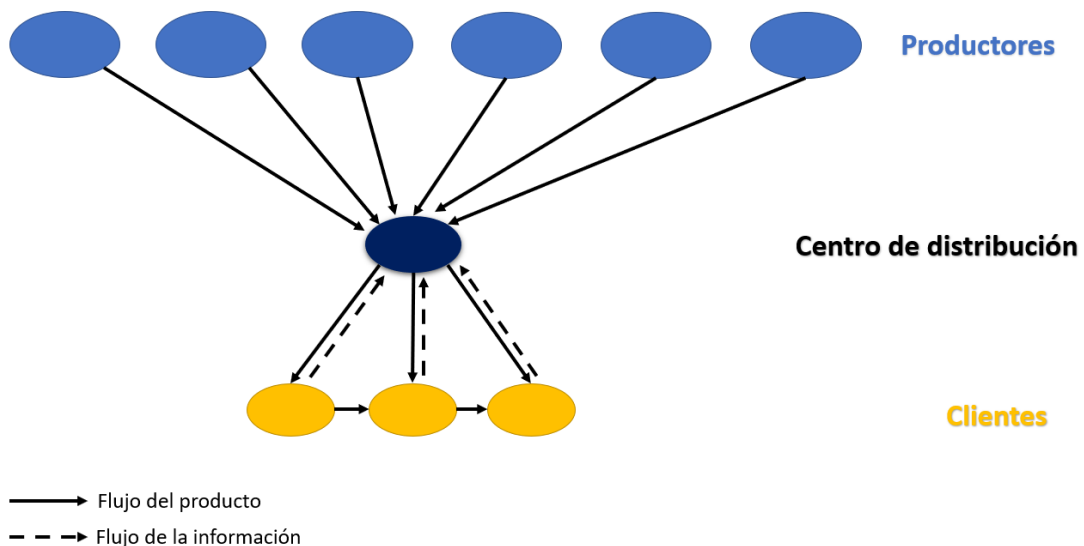


Figura 19. Diagrama cadena distribución desde Centro de distribución. Fuente: Adaptado de apuntes Logística de Distribución Directa e Inversa, GIOI UPV.

Cada región geográfica debe poseer un Centro de Distribución. Las distancias que recorrerán los vehículos de transporte de pedidos, serán más largas que desde las tiendas.

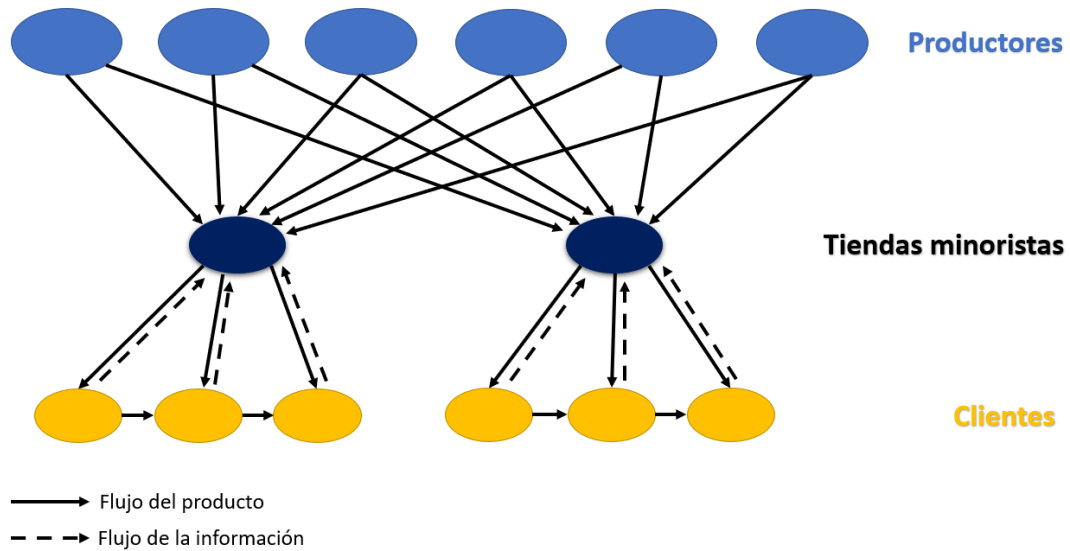


Figura 20. Diagrama cadena distribución desde una tienda. Fuente: Adaptado de apuntes Logística de Distribución Directa e Inversa, GIOI UPV.

Las tiendas minoristas actúan como almacenes intermedios, se podrán coger los productos necesarios de ellas y enviarlas a los clientes cercanos desde allí, por lo que las distancias serán mucho menores.

Encuestas realizadas en Alemania y Francia han demostrado que las entregas entre los centros de distribución y los puntos de venta, se realizan generalmente con vehículos de las categorías 12t y 20t, con o sin remolque (Ehrler et al., 2019). La opción más habitual para el reparto de entregas a domicilio, es el uso de furgonetas. Las camionetas también tienen una intensidad de carbono relativamente alta, expresada en gramos de CO<sub>2</sub> por tonelada km (McKinnon, 2007) (J. B. Edwards et al., 2010), en particular porque gran parte de su kilometraje se realiza en carreteras urbanas. Por esta razón, ha habido un creciente interés en el uso de vehículos eléctricos para el reparto a domicilio, especialmente en el sector de la alimentación.

Para las unidades de embalaje más pequeñas, típicas para la última milla hasta el consumidor final en la distribución en línea, los velocistas son la clase de vehículo dominante. Los vehículos utilizados para la distribución del último kilómetro de los comestibles electrónicos no suelen tener control de temperatura.

Las distancias recorridas en la "última milla" varían para las ventas en línea y fuera de línea. Para las ventas de comestibles fuera de línea, las distancias medias entre el centro de distribución de la propia empresa y su punto de venta oscilan entre 25 y 125 km (Ehrler et al., 2019). La distancia está estrechamente relacionada con la densidad de los centros de distribución: cuanto mayor es la densidad de la red de centros de distribución, menor es la distancia entre el centro de distribución y el punto de venta. Las distancias cubiertas por las entregas en línea raramente exceden los 100 km por día por vehículo, con entregas a varios clientes durante dicho recorrido.

Si las terminales logísticas se han alejado de las ciudades densas, la población sigue concentrada en el centro de la ciudad. La expansión logística de las terminales influye en el aumento de las distancias a recorrer para abastecer a la población urbana, es decir, sobre los impactos ambientales de la entrega urbana. Los cambios en la ubicación de estas terminales afectarán directamente a las distancias y rutas utilizadas por los vehículos para la entrega de las zonas urbanas.

Junto a la cuestión de las emisiones relacionadas con la distribución de alimentos resultantes, los distribuidores de las ventas de comestibles online se enfrentan al reto de mejorar la eficacia de sus estructuras y desarrollar una logística innovadora soluciones para poder seguir siendo rentables.

Según el análisis realizado por McKinsey, en el Reino Unido hay que calcular alrededor de 11,00 libras (12,50 euros) para recoger mercancías de una cesta de alimentos de 80 libras y distribuirlas al cliente en ese momento (Ehrler et al., 2019). Se espera que esto obligue a las tiendas de comestibles en línea a planificar cuidadosamente sus entregas a fin de maximizar la densidad de las entregas, mejorando así su eficiencia de distribución y reduciendo los costos de entrega por pedido.

Cada vez se deben coordinar más pequeñas entregas a los hogares. Además, opciones como Amazon Prime han educado a los usuarios para que esperen entregas en plazos muy cortos. Esto resulta en mayores costos para los que empacan y transportan la comida del cliente final. Esta última etapa de la cadena de transporte de alimentos está cubierta y financiada en la cadena de suministro tradicional de comestibles por el propio cliente. La incidencia de entregas fallidas también hace que aumenten los costes.

Además, las investigaciones han demostrado que los costos de operación de los vehículos eléctricos tienen el potencial de ser menores en comparación con los vehículos de propulsión convencional con motor de combustión interna (Ehrler et al., 2019). Dependiendo de la evolución tecnológica, política y de la demanda del mercado, se espera que los vehículos eléctricos aumenten su beneficio técnico y económico en la distribución de la última milla.

Para crear una distribución de baja o nula emisión, la electricidad necesaria tiene que ser generada a partir de fuentes renovables. En España, el mix energético de producción de electricidad tiene una alta carga de energías renovables, como podemos observar en la siguiente figura (Fig. 17).

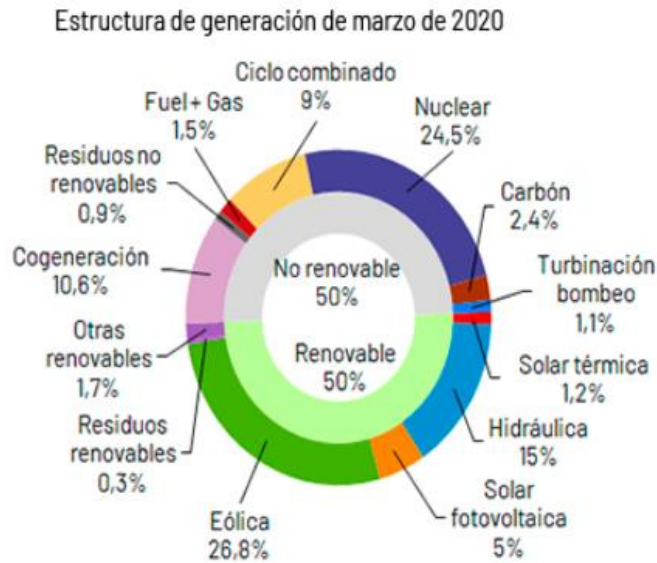


Figura 21. Estructura generación electricidad España. Fuente: La Demanda de Energía Eléctrica de España Desciende Un 4,6% En Marzo. Red Eléctrica de España, 2020.

La energía renovable es más cara; por lo tanto, los costos adicionales son evidentes. Además, los conductores necesitan una capacitación especializada para poder operar un camión eléctrico de batería completa, para aprovechar al máximo la capacidad de la batería y la recuperación de averías (Ehrler et al., 2019). La importancia del transporte de emisiones bajas o nulas en la distribución en el último kilómetro, impulsado por ejemplo por la reglamentación o la demanda del mercado, está fomentando la futura utilización de vehículos eléctricos en la distribución.

En el artículo (Ehrler et al., 2019) se analiza el ejemplo de Hellmann Worldwide Logistics, un proveedor de servicios logísticos de renombre internacional. En Agosto 2018 añadió su primer camión con batería eléctrica a la flota. El mencionado camión electrónico tiene una carga útil de 3 toneladas, espacio para diez paletas y un alcance de 100 km. Hellmann Worldwide Logistics ha utilizado este vehículo para la distribución de carga general en Alemania. Para evaluar la nueva tecnología de los vehículos, el camión electrónico se ha utilizado en diferentes áreas de entrega durante el período de prueba de seis meses. Las recogidas son en su mayor parte devoluciones de las tiendas minoristas a sus almacenes.

En los dos recorridos estudiados en la zona de entrega de la sucursal de Hellmann en Lehrte, era posible sustituir un camión de motor diésel existente por el camión eléctrico sin necesidad de modificar el recorrido. El uso de los camiones eléctricos se basaba en un ciclo completo de carga durante la noche. En general, es factible un uso económicamente ventajoso de los camiones eléctricos en las operaciones diarias.

Otra conclusión importante del caso de uso de Helmann es que todo el sistema de estructuras logísticas, incluidos los vehículos, la infraestructura y las herramientas de planificación, está actualmente establecido para los vehículos propulsados por motores de combustión. La superación del efecto de bloqueo de estas estructuras no puede lograrse sólo con la introducción de vehículos eléctricos. Como el aumento del comercio electrónico requiere tales soluciones económicas, ecológicas, pero también socialmente sostenibles para la

distribución, serán necesarias medidas reguladoras, aunque parezcan incómodas por el momento.

#### 4.4 Los vehículos eléctricos: emisiones y carga

Los vehículos eléctricos no emiten CO<sub>2</sub> como tal durante el trayecto, pero lo hacen de forma indirecta tanto en su fase de producción como por la electricidad que necesitan. Es un error afirmar que no tienen emisiones, lo correcto sería afirmar que no tienen emisiones locales. En el estudio de la agencia europea T&E, se analiza en conjunto el ciclo de vida desde su proceso de producción hasta el final de sus días (Emilio J. Fernández Rey, 2020).

Para el cálculo de sus emisiones, en el estudio mencionado se han incluido todos los aspectos posibles. Esto es el CO<sub>2</sub> emitido durante:

- El proceso de extracción de los minerales necesarios para la fabricación de la batería.
- El proceso de fabricación del vehículo, incluida la batería.
- El desplazamiento del vehículo (emisiones asociadas a la producción de energía).
- El reciclaje de las baterías.
- La construcción de las centrales eléctricas necesarias para la producción de energía.
- La extracción de los materiales necesarios para la construcción de las centrales eléctricas.

Los coches eléctricos en Europa emiten de media casi tres veces menos de CO<sub>2</sub> que un coche gasolina o diésel equivalente (Emilio J. Fernández Rey, 2020).

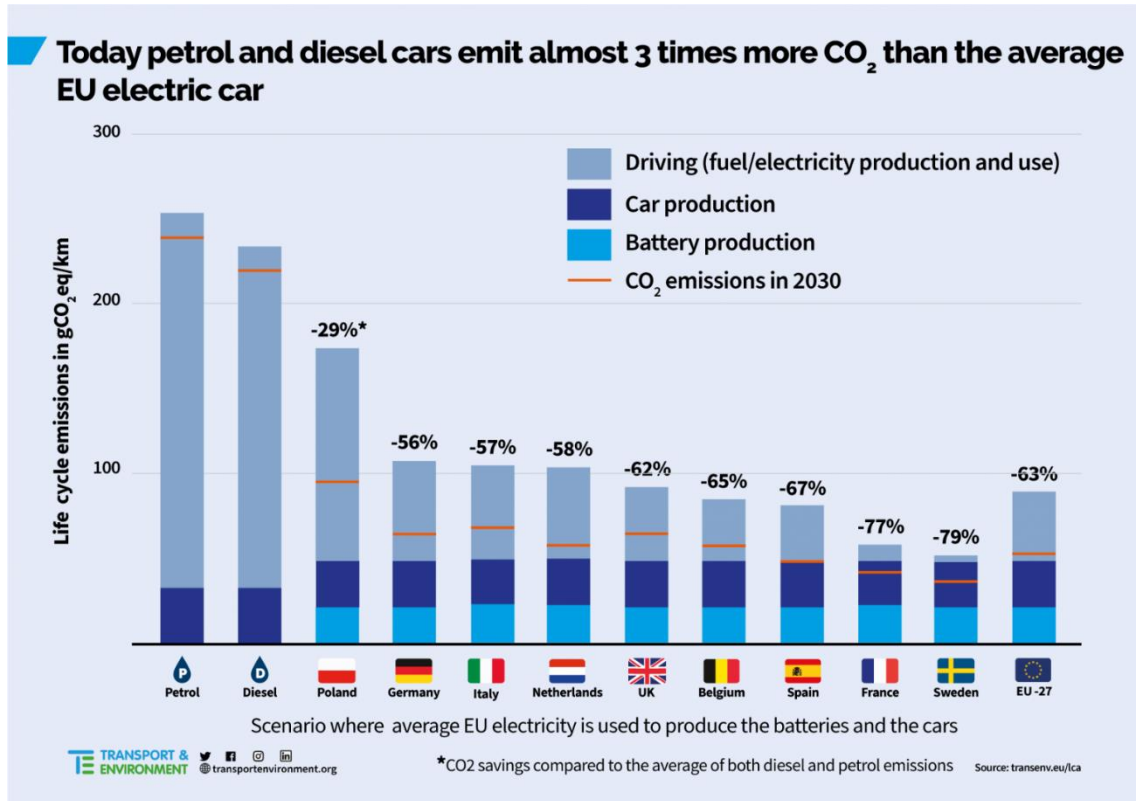


Figura 22. Comparación emisiones coche diésel y gasolina Vs. Eléctrico por país. Fuente: *Emilio J. Fernández Rey, 2020.*

El coste de cargar un vehículo eléctrico depende de muchos factores, es un coste bastante variable en función de cuándo, cómo y dónde se haga la recarga (Fernández Munguía, 2020).

En el informe elaborado por la Cámara de comercio junto Renault (Renault, 2017), se considera que el precio del kW son 0,13€ (Fig. 29).

▮ Cálculo del coste cada 100 km + ejemplo 12.500 km:

	Gasolina	Diésel	Eléctrico	Eléctrico*	Eléctrico**
Precio (€/litro)	1,27	1,14	0,13	0,08	0,05
Consumo medio (l/100)	6,50	4,50	13,30	14,30	15,30
Coste/100 km	8,22 €	5,15 €	1,73 €	1,19 €	0,77 €
Coste 12.500 km/año	1.027,81 €	643,50 €	216,13 €	148,36 €	95,63 €

(Con tarifa de discriminación horaria \*Valle y \*\*Supervalle)

Figura 23. Comparación precios vehículos diésel, gasolina y eléctrico por la cámara de comercio de España. Fuente: Renault, 2017.



Si el punto de recarga es en un domicilio, lo lógico es que se cargue en el período más barato de la tarifa. El 1 de abril de 2014 entró en vigor la normativa que regula el nuevo sistema para determinar el coste de energía de la factura de electricidad, el Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC) (*Precio Voluntario Para El Pequeño Consumidor (PVPC) | Red Eléctrica de España*, n.d.). Red Eléctrica ha puesto en marcha un sistema para calcular el gasto de energía eléctrica de los hogares que no cuentan con contador inteligente.

### TÉRMINO DE FACTURACIÓN DE ENERGÍA ACTIVA DEL PVPC

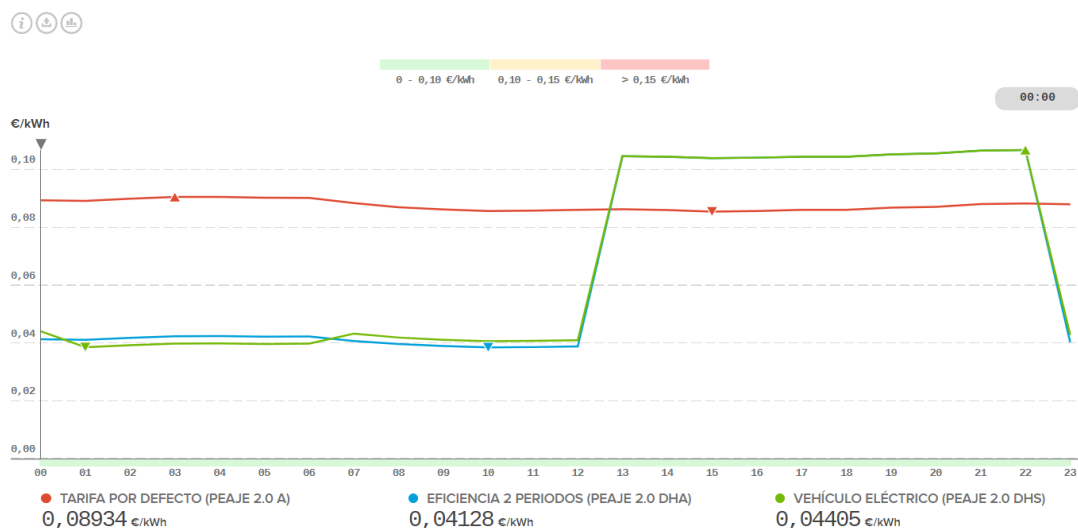


Figura 24. Facturación energía activa PVPC. Fuente: Precio Voluntario Para El Pequeño Consumidor (PVPC), Red Eléctrica de España, 2020.

De esta forma, cogiendo los datos de la aplicación LUMIOS de Red Eléctrica en España (*Lumios | ESIOS Electricidad · Datos · Transparencia*, 2020) para un coche eléctrico que consuma 15,2 kWh cada 100 km, el coste queda de la siguiente manera en cada una de las tres tarifas (impuesto eléctrico e IVA incluidos) y teniendo en cuenta un rendimiento en la recarga del 85%:

TARIFA	€/KWH	€/100KM
<b>2.0 A (P1)</b>	0.13840	2.47
<b>2.0 DHA (P2)</b>	0.07455	1.33
<b>2.0 DHS (P3)</b>	0.06648	1.19

Tabla 2. Coste €/100km de 15,2 kh. Fuente: Lumios ESIOS Electricidad · Datos · Transparencia, 2020.

Como se puede comprobar, la forma más económica de cargar un coche es en el periodo más barato (P3) de la tarifa 2.0 DHS, con el cual moverse cuesta solo 1,19 euros cada 100 kilómetros.

El coste de cargar un coche eléctrico en un punto de recarga público es totalmente diferente. En función de la potencia, podemos dividir la recarga pública en dos tipos:

- Recarga lenta o acelerada: es el homólogo a la recarga doméstica pero fuera del hogar. Son puntos que tienen desde 3,4 hasta 22 kW de potencia.

- Recarga rápida: es la que permite realizar viajes de larga distancia. Se localizan en estaciones de servicio o lugares estratégicos. Son puntos que tienen de 40 a 400kW de potencia.

Hablar de un precio concreto para un punto de carga público no es sencillo. En el caso de la recarga lenta, es relativamente habitual que sea gratuita.

La siguiente tabla muestra los precios de los principales proveedores de recarga rápida en España, ordenados de mayor a menor:

PROVEEDOR	PRECIO (€/KWH)	PRECIO (€/100KM)
<b>Endesa X</b>	0.49	7.44
<b>Respsol</b>	0.47	7.14
<b>Wenea</b>	0.45	6.84
<b>GIC</b>	0.45	6.84
<b>EMT Madrid</b>	0.40	6.08
<b>Cargacoches</b>	0.38	5.77
<b>EDP</b>	0.36	5.47
<b>Iberdrola</b>	0.30	4.56
<b>Easycharger</b>	0.30	4.56

Tabla 3. Precios recarga rápida en España. Fuente: Fernández Munguía, 2020.

(Cálculos modificados para el Kangoo ZE con un consumo de 15,2 kWh por cada 100 km.)

Para 2020 en España existirá una red básica de puntos de recarga rápidos con distancias entre los 100 y 150 kilómetros (Fernández, 2019). Actualmente existen alrededor de 5835 puntos de recarga en nuestro país, según Electromaps (*Listado de Puntos de Recarga En España, 2020*).

## 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A continuación, se detallará cómo se pretende realizar el análisis de la implantación de vehículos eléctricos en un comercio electrónico de alimentos. Se focaliza el estudio en furgonetas para la entrega a domicilio, que como se ha comentado antes es el método más común de reparto.

Lo primero que interesa saber es la reducción de CO<sub>2</sub> que conllevaría cambiar la flota de vehículos de transporte de combustión a eléctricos. Para ello, lo primero que debemos averiguar es el consumo que presenta cada tipo de vehículo: diésel, gasolina y kWh para vehículos eléctricos.

Se plantea un problema de rutas desde un centro de distribución a domicilios. A partir de estas rutas se calcularán los kilómetros que debe recorrer dicho vehículo según las entregas a realizar, y según el número de furgonetas necesario en cada caso. Para saber cuántas entregas es posible que sean capaces de hacer cada vehículo, es necesario saber qué capacidad de carga poseen para saber cuántos pedidos pueden transportar. Partiendo de esto, se calculará la cantidad de CO<sub>2</sub> que produciría cada vehículo en esa ruta y se comparará cuál es la mejor opción.

Por otro lado, se evaluará económicamente si es factible la implantación de estos vehículos en las empresas. Se debe calcular el coste de los combustibles y el kW, el coste de la mano de obra y el coste de las camionetas según su tipo y el mantenimiento de cada una.

Se calcularán los costes por entrega, semanales, mensuales y anuales en Valencia y los costes diarios en las 10 ciudades en las que más se realizan entregas online de España, comentado en Antecedentes.

### 5.1 Problema de rutas de vehículos (VRP)

El problema de rutas de vehículos (VRP) es el nombre genérico dado a la clase de problemas en los que se debe determinar una serie de rutas para una flota de vehículos basados en uno o más depósitos, para un cierto número de ciudades o clientes geográficamente dispersos. (Lüer et al., 2009). Surge naturalmente como el problema central en los campos de transporte, distribución y logística. En algunos mercados, el transporte significa un alto porcentaje del valor de los bienes.

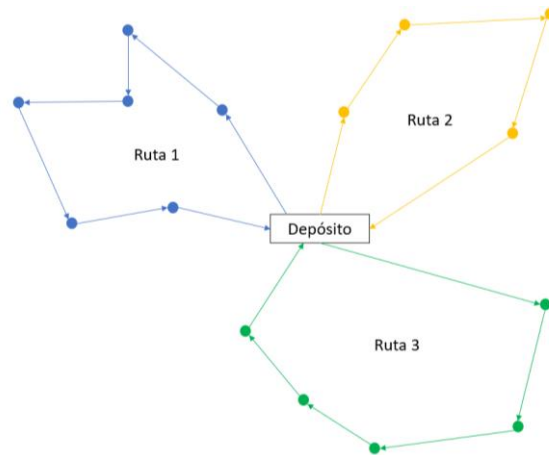


Figura 25. Representación gráfica del problema VRP. Fuente: Elaboración propia.

El problema VRP parte de un depósito. En este trabajo, se toma como punto de partida el Centro de Distribución de Consum, en el Polígono Industrial del Oliveral en Ribarroja. Se considera la siguiente definición de variables:

- $i$ : clientes.
- $k$ : número de vehículos.
- $d_{ij}$ : distancia entre dos clientes.
- $c_{ij}$ : coste unitario de transporte entre dos clientes.
- $t_{ij}$ : tiempo entre clientes.
- $q_i$ : demanda de cada cliente.
- $s_i$ : tiempo de descarga.
- $Q_k$ : capacidad del vehículo.
- $c_k$ : coste fijo por uso de vehículo.
- $x_{ijk}$ : variable binaria (1,0).

Se define de la siguiente forma:

- Dado una serie de vehículos  $k$  (1,...,m) y una serie de localizaciones  $i$  (1,...,n) a atender, se trata de definir la ruta de cada vehículo que permita dar servicio a los clientes.
- Se conoce el coste unitario de transporte entre dos clientes  $c_{ij}$ , la distancia entre clientes  $d_{ij}$  y el tiempo entre ellos  $t_{ij}$ .
- Se conoce la demanda de cada cliente  $q_i$ , el tiempo de descarga  $s_i$ , la prioridad del cliente  $\delta_i$ , la capacidad del vehículo  $Q_k$ , el periodo de tiempo disponible  $r_o^k$ ,  $d_o^k$  y el coste fijo por uso de vehículo  $c_k$ .
- Sea  $x_{ijk}$  una variable binaria que toma valor 1 si el vehículo  $k$  va directamente desde el cliente  $i$  al cliente  $j$ . Valor igual a 0 en caso contrario.

La función objetivo, por otra parte, depende de la tipología y características del problema. Lo más habitual es intentar minimizar: el coste total de operación, el tiempo total de transporte, la distancia total recorrida, el tiempo de espera; o bien maximizar: el beneficio económico, el servicio al cliente, el nivel de utilización de los vehículos, la utilización de los recursos, etc. Para nuestro problema se necesita minimizar la distancia total.

$$\text{Min} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m d_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Ecuación 1. Función objetivo. Fuente: asignatura Métodos Cuantitativos de la Organización Industrial, GIOI UPV.

Sujeto a las siguientes restricciones:

Se tienen que visitar todos los puntos, una vez como máximo (Ec. 2).

$$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad \forall j \quad (2)$$

Ecuación 2. Restricción visitas. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.

El flujo de entrada y salida debe ser igual (Ec. 3).

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} - \sum_{i=0}^n x_{ijk} = 0, \quad \forall j, k \quad (3)$$

Ecuación 3. Restricción flujo entrada y salida. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.

La demanda de los clientes no puede superar la capacidad del vehículo (Ec. 4).

$$\sum_{i=1}^n q_i \sum_{j=0}^n x_{ijk} \leq Q_k, \quad \forall k \quad (4)$$

Ecuación 4. Restricción capacidad. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.

Todos los vehículos deben salir y regresar al Centro de distribución (Ec. 5 y 6).

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1, \quad \forall k \quad (5)$$

Ecuación 5. Restricción salir desde Centro Distribución. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.

$$\sum_{j=1}^n x_{i0k} = 1, \quad \forall k \quad (6)$$

Ecuación 6. Restricción regresar al Centro Distribución. Fuente: apuntes Métodos de la Organización Industrial, GIOI UPV.

Se resolverán 3 problemas de rutas de vehículos, uno por cada tipo de furgoneta.

En el caso de las furgonetas eléctricas se deberá añadir una nueva restricción: la autonomía, es decir, los kilómetros que puede recorrer un vehículo eléctrico desde una carga completa hasta su descarga completa.

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ij} \leq A, \quad \forall k \quad (7)$$

Ecuación 7. Restricción autonomía. Fuente: Elaboración propia.

Siendo A la autonomía del vehículo. La distancia que recorra cada vehículo, es decir, la ruta asignada para ese vehículo, tendrá que ser menor a la autonomía del mismo.

## 5.2 Algoritmo Clarke and Wright

Para resolver los problemas de rutas de vehículos (VRP), se ha seleccionado los algoritmos que no garantizan optimalidad, pero que logran entregar buenas soluciones a estos problemas difíciles de resolver. Este tipo de algoritmos se conocen como heurísticas (Olivera, 2004).

Los algoritmos heurísticos son procedimientos simples que realizan una exploración limitada del espacio de búsqueda y dan soluciones de calidad aceptable en tiempos de cálculo generalmente moderados. Dentro de las heurísticas existen varios tipos, siendo las principales: de mejora y constructivas.

El problema se resolverá con la heurística constructiva de Clarke & Wright o Algoritmo de Ahorros. Las heurísticas constructivas no parten de una solución factible, se va elaborando a medida que progresa. La heurística de ahorros es una de las más conocidas.

Consiste en crear n rutas factibles. Se va probando a unir una ruta que termina en i con otra que comienza en j, agregando el arco [i,j], calculando el ahorro de cada posible movimiento. Si en una solución dos rutas diferentes pueden ser combinadas formando una nueva ruta, el ahorro (en distancia) obtenido por dicha unión es:

$$S(i, j) = DIST(0, i) + DIST(i, 0) - DIST(i, j) \quad (8)$$

Ecuación 8. Ahorro Clarke & Wright. Fuente: asignatura Métodos de la Organización Industrial. GIOI UPV.

En este algoritmo se parte de una solución inicial y se realizan las uniones que den mayores ahorros siempre que no violen las restricciones del problema.

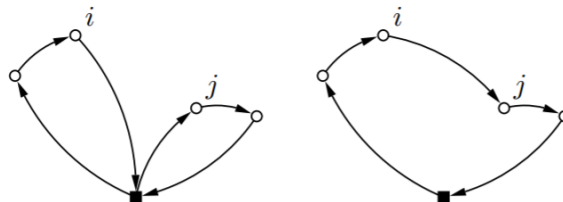


Figura 26. Dos rutas antes y después de ser unidas. Fuente: Olivera, 2004.

Los pasos generales para realizar este algoritmo son:

**Paso 1.** Identificar la matriz de distancias.

**Paso 2.** Identificar la matriz de ahorros.

**Paso 3.** Combinar rutas.

A la hora de resolver el problema se utilizará el programa Visual Basic de Excel, siguiendo los siguientes pasos:

**Paso 1** (inicialización). Para cada cliente  $i$  construir la ruta  $(0, i, 0)$ .

**Paso 2** (cálculo de ahorros). Calcular  $s_{ij}$  para cada par de clientes  $i$  y  $j$ .

**Paso 3** (mejor unión). Sea  $s_{i^*j^*} = \max s_{ij}$ , donde el máximo se toma entre los ahorros que no han sido considerados aún. Sean  $r_{i^*}$  y  $r_{j^*}$  las rutas que contienen a los clientes  $i^*$  y  $j^*$  respectivamente. Si  $i^*$  es el último cliente de  $r_{i^*}$ , y  $j^*$  es el primer cliente de  $r_{j^*}$  y la combinación de  $r_{i^*}$  y  $r_{j^*}$  es factible, combinarlas. Eliminar  $s_{i^*j^*}$  de futuras consideraciones. Si quedan ahorros por examinar ir a 3, si no terminar.

Por lo que el diagrama de flujo que nos indica cómo resolver el problema, será de la siguiente forma (Fig. 34):

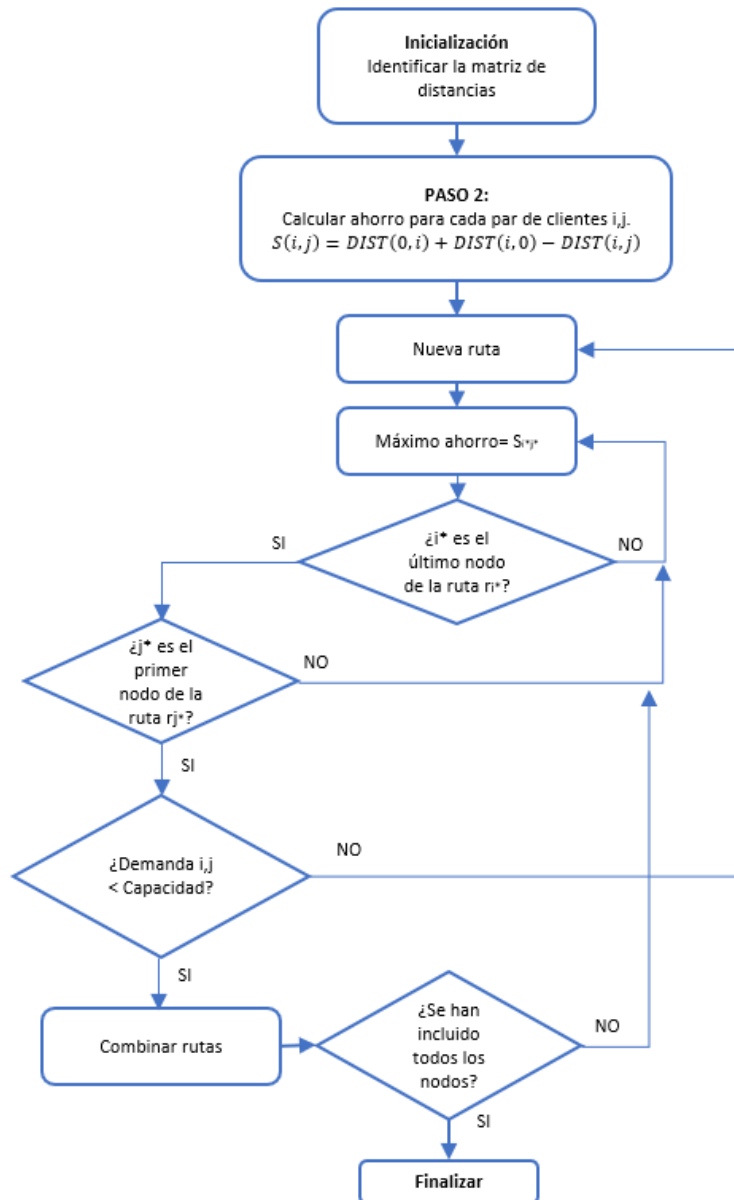


Figura 27. Diagrama de flujo algoritmo C&W. Elaboración propia a partir de apuntes y Olivera, 2004.

Con este algoritmo se obtiene el número de rutas que hay que realizar, y con ellas las furgonetas necesarias para cada flota de vehículos y los kilómetros recorridos por cada una de ellas. Con estos datos se calculan las emisiones que se producen y los costes de cada opción, para posteriormente compararlas.



## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Recopilación de datos

Para poder hacer un estudio coherente, a la hora de realizar los cálculos, se han obtenido datos de fuentes fiables. A continuación, se explicará cómo se han obtenido todos los datos necesarios con sus cálculos correspondientes.

#### 6.1.1 Demanda

A la hora de definir la demanda de los puntos de entrega en kilogramos, se generan números aleatorios en Excel con la herramienta 'Análisis de Datos', definiendo una Distribución Normal con media de 20, ya que en el artículo (J. B. Edwards et al., 2010) señala que la media que se suele comprar de forma online a e-commerce de alimentos está en torno a 20 kg. Estos datos se incluyen en el programa de Excel para calcular las rutas de las furgonetas.

Figura 28. Generación de números aleatorios en Excel. Fuente: Elaboración propia.

DOMICILIO	DEMANDA	DOMICILIO	DEMANDA	DOMICILIO	DEMANDA
<b>1</b>	22	<b>11</b>	15	<b>20</b>	20
<b>2</b>	20	<b>12</b>	13	<b>21</b>	21
<b>3</b>	24	<b>13</b>	14	<b>22</b>	16
<b>4</b>	20	<b>14</b>	21	<b>23</b>	23
<b>5</b>	19	<b>15</b>	19	<b>24</b>	26
<b>6</b>	23	<b>16</b>	22	<b>25</b>	21
<b>7</b>	17	<b>17</b>	16	<b>26</b>	23
<b>8</b>	24	<b>18</b>	17	<b>27</b>	17
<b>9</b>	19	<b>19</b>	19	<b>28</b>	18
<b>10</b>	20				

Tabla 4. Demanda clientes. Elaboración propia.

### 6.1.2 Distancias

A la hora de plantear las distancias para después escribirlas en una matriz en las que se relacionan todos los puntos de entrega con las distancias entre ellos, se ha tenido en cuenta el artículo (Ehrler et al., 2019). En él, se especifica que las distancias medias entre el centro de distribución de la propia empresa y los puntos de entrega oscilan entre 25 y 125 km, tal y como definió (Ehrler et al., 2019). Esto varía según la densidad de la red de centros de distribución. Las distancias cubiertas por las entregas online raramente exceden los 100 km por día por vehículo, con entregas a varios clientes durante dicho recorrido.

Así pues, las distancias se han obtenido de un problema de la asignatura de Métodos Cuantitativos de Organización Industrial, en el que la matriz de distancias corresponde a un supuesto de distancias entre un Centro de distribución y farmacias:

Distancia	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
0	0	4,4	7,6	6,4	9,2	2,2	11,9	5,3	4,3	10,7	17,3	3,4	5,4	5,8	9,5	9,5	5,8	17,9	8,1	8	7,1	0,9	22,5	11,7	6	9,5	4,8	10,3	11,3
1	4,4	0	4,3	2,4	4,8	3,5	5,3	2,6	1,9	7,8	3,4	2,7	4,3	2,1	6,7	4,9	4,9	8,2	6,1	4,3	6,4	4,4	23,6	7,8	3	6,6	3,4	11	13,9
2	7,6	4,3	0	2,2	1,9	5,1	3,6	2,6	3,4	5,8	1,4	4,6	2,3	2,7	2,3	3,6	2,5	2,1	1,4	3,5	2,7	7,5	22,3	6	4,1	1,9	3,3	7,5	7,6
3	6,4	2,4	2,2	0	3,1	4,4	4,6	0,7	1,8	6,9	0,9	3	2,2	2,2	3,9	3,6	2,2	5,3	2,8	4	3	5,9	21,5	7,2	3,4	4,4	2,5	8,8	9,5
4	9,2	4,8	1,9	3,1	0	7	3	3,1	4,3	4,9	2,5	5,9	3,9	2,6	2,3	2	4,8	2,5	2,3	2,9	3,9	8,8	26,2	4,9	4,4	2,3	4,6	11,4	11,8
5	2,2	3,5	5,1	4,4	7	0	8,6	3,8	2,2	11,1	4,1	1,7	3,5	4,2	8,6	8,2	3,3	12,2	5,6	6,2	4,4	1,9	19,2	11,2	5	8,7	2,5	8,7	11,2
6	11,9	5,3	3,6	4,6	3	8,6	0	4,5	5	3,6	4,4	6,4	5,2	2,6	4,6	1,6	5,9	5	4,8	0,9	8,7	8,3	28	11,3	3,4	4,6	5,8	16	16,1
7	5,3	2,6	2,6	0,7	3,1	3,8	4,5	0	1,2	7,1	1,4	2,5	2	2	4,7	4,8	2,4	2,5	3,9	3,9	3,7	4,9	21,4	7,3	3,3	4,4	2	8,8	9,6
8	4,3	1,9	3,4	1,8	4,3	2,2	5	1,2	0	8,4	2,2	1,5	2,3	2,5	5,8	5,8	2,3	7,7	4,1	4,4	3,7	3,7	21,1	9,4	3,6	6,1	1,2	9,5	9,6
9	10,7	7,8	5,8	6,9	4,9	11,1	3,6	7,1	8,4	0	6,7	8,5	7,5	5,8	7,2	3,7	11,8	11,2	6,8	3,8	11	10,4	29,2	1,1	5,6	7,2	8,6	15	15,3
10	17,3	3,4	1,4	0,9	2,5	4,1	4,4	1,4	2,2	6,7	0	3,5	1,8	2,7	3,1	4	2	3,5	2,1	4,3	2,4	5	21,7	6,8	4,1	2,8	2,6	7,2	10,1
11	3,4	2,7	4,6	3	5,9	1,7	6,4	2,5	1,5	8,5	3,5	0	3	3	6,5	6,1	2,5	11,8	4,8	5,5	4,4	3,1	21,9	9,7	3,8	6,7	2,2	10,4	10,3
12	5,4	4,3	2,3	2,2	3,9	3,5	5,2	2	2,3	7,5	1,8	3	0	3,7	4,1	10,8	0,2	6,6	2,5	5,2	1,3	4,9	20,1	8,1	5,5	3,7	1,6	5,4	7,7
13	5,8	2,1	2,7	2,2	2,6	4,2	2,6	2	2,5	5,8	2,7	3	3,7	0	4,6	3,3	3,7	4,9	3,9	2,4	5,3	5,5	22,7	6	1,7	4,3	3,4	10,6	11,2
14	9,5	6,7	2,3	3,9	2,3	8,6	4,6	4,7	5,8	7,2	3,1	6,5	4,1	4,6	0	3,5	4,1	5,4	2,2	5	3,8	9,4	23,5	8,5	7,1	0,5	5	8,6	9
15	9,5	4,9	3,6	3,6	2	8,2	1,6	4,8	5,8	3,7	4	6,1	10,8	3,3	3,5	0	5,3	5,3	5,1	2	6,4	8,3	28	3,7	4	3,4	7,1	15,6	16,6
16	5,8	4,9	2,5	2,2	4,8	3,3	5,9	2,4	2,3	11,8	2	2,5	0,2	3,7	4,1	5,3	0	5,1	2,5	4,1	1,4	5,1	19,9	11,9	5,7	3,9	1,6	6,6	9,8
17	17,9	8,2	2,1	5,3	2,5	12,2	5	2,5	7,7	11,2	3,5	11,8	6,6	4,9	5,4	5,3	5,1	0	4,5	6,9	6,9	16,7	37	13	7,5	4,8	7,9	19,6	18,5
18	8,1	6,1	1,4	2,8	2,3	5,6	4,8	3,9	4,1	6,8	2,1	4,8	2,5	3,9	2,2	5,1	2,5	4,5	0	4,4	2,1	7,4	22	6,8	5,9	2	3,4	6,6	7,9
19	8	4,3	3,5	4	2,9	6,2	0,9	3,9	4,4	3,8	4,3	5,5	5,2	2,4	5	2	4,1	6,9	4,4	0	6,1	7,6	25,5	4	2,6	4,8	5,2	14	16,7
20	7,1	6,4	2,7	3	3,9	4,4	8,7	3,7	3,7	11	2,4	4,4	1,3	5,3	3,8	6,4	1,4	6,9	2,1	6,1	0	6,4	20,2	14,3	5,4	3,5	2,9	5,4	6,1
21	0,9	4,4	7,5	5,9	8,8	1,9	8,3	4,9	3,7	10,4	5	3,1	4,9	5,5	9,4	8,3	5,1	16,7	7,4	7,6	6,4	0	21,8	11,3	6,6	8,8	4,2	9,8	25
22	22,5	23,6	22,3	21,5	26,2	19,2	28	21,4	21,1	29,2	21,7	21,9	20,1	22,7	23,5	28	19,9	37	22	25,5	20,2	21,8	0	29	14,7	23,5	20,5	17,5	17,7
23	11,7	7,8	6	7,2	4,9	11,2	11,3	7,3	9,4	1,1	6,8	9,7	8,1	6	8,5	3,7	11,9	13	6,8	4	14,3	11,3	29	0	6,7	8,8	9,7	13,9	13,9
24	6	3	4,1	3,4	4,4	5	3,4	3,3	3,6	5,6	4,1	3,8	5,5	1,7	7,1	4	5,7	7,5	5,9	2,6	5,4	6,6	14,7	6,7	0	5,8	4,5	17,9	15,8
25	9,5	6,6	1,9	4,4	2,3	8,7	4,6	4,4	6,1	7,2	2,8	6,7	3,7	4,3	0,5	3,4	3,9	4,8	2	4,8	3,5	8,8	23,5	8,8	5,8	0	5,1	8,9	9,8
26	4,8	3,4	3,3	2,5	4,6	2,5	5,8	2	1,2	8,6	2,6	2,2	1,6	3,4	5	7,1	1,6	7,9	3,4	5,2	2,9	4,2	20,5	9,7	4,5	5,1	0	8,3	8,8
27	10,3	11	7,5	8,8	11,4	8,7	16	8,8	9,5	15	7,2	10,4	5,4	10,6	8,6	15,6	6,6	19,6	6,6	14	5,4	9,8	17,5	13,9	17,9	8,9	8,3	0	5,5
28	11,3	13,9	7,6	9,5	11,8	11,2	16,1	9,6	9,6	15,3	10,1	10,3	7,7	11,2	9	16,6	9,8	18,5	7,9	16,7	6,1	25	17,7	13,9	15,8	9,8	8,8	5,5	0

Tabla 5. Matriz de distancias para el problema VRP. Fuente: Elaboración propia.

Las distancias varían desde 0.7 kilómetros hasta 29.2, asemejándose a un posible caso en Valencia con un Centro de Distribución en el Polígono Industrial del Oliveral en Ribarroja.

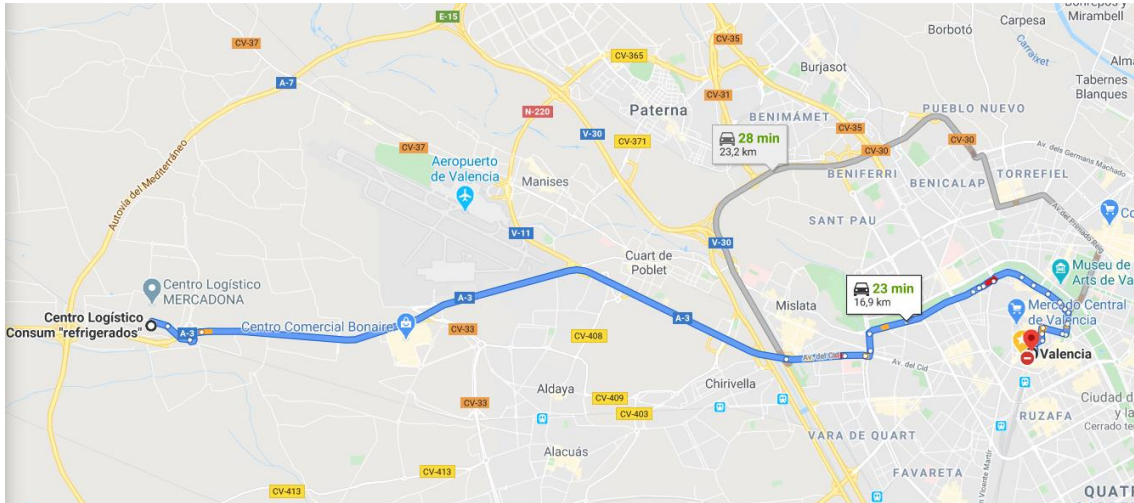


Figura 29. Mapa con distancia desde el Polígono Industrial del Oliveral hasta el centro de Valencia. Fuente: Elaboración propia con la herramienta Google Maps.

### 6.1.3 Vehículo

Como se ha comentado anteriormente, la opción más habitual para el reparto de entregas a domicilio, es el uso de furgonetas (J. B. Edwards et al., 2010), por lo que los cálculos se harán en base a sus características.

Se comparará la furgoneta Mercedes Vito Furgón Larga para diésel y gasolina, y la furgoneta Renault Master ZE como furgoneta eléctrica. Estas furgonetas tienen un buen tamaño para el uso que se pretende dar como transporte de productos de alimentación de la plataforma e-commerce.



Figura 30. A la izquierda, Mercedes Vito Furgón. Fuente: *Vito Furgón | Furgonetas y Tourer Mercedes-Benz*, n.d. A la derecha, Renault Master Z.E. Fuente: *MASTER Z.E. - El Furgón 100% Eléctrico - Renault*, n.d.

La furgoneta Mercedes Vito Furgón Larga es una furgoneta comercial producida por el fabricante alemán Mercedes-Benz desde el año 1995 en la fábrica española de Vitoria-Gasteiz (de ahí su nombre). Existen diferentes medidas, siendo la Larga de 5.140 mm de longitud. Existen modelos de motores tanto diésel como gasolina (*Vito Furgón | Furgonetas y Tourer Mercedes-Benz*, 2020).

La furgoneta Renault Master ZE es la nueva furgoneta 100% eléctrica de Renault. Tiene un precio elevado, dispone de un motor eléctrico de gran eficacia energética. Su potencia es de 57 kW (78 CV) y su velocidad máxima de 100 km/h. Está pensada para reparto diario de última milla y otros usos profesionales en el entorno urbano y periurbano. Existen 6 versiones, con un volumen útil de 8 a 22 m<sup>3</sup>. Para los cálculos se ha utilizado la de 8 m<sup>3</sup> al considerarse suficiente y tener un precio menor que las demás.

En la Tabla 6 se definen las características de las furgonetas escogidas para los cálculos. El precio se utilizará para la comparación económica entre las diferentes opciones. La capacidad es indispensable a la hora de realizar el cálculo de las rutas. Tras conocer las distancias recorridas por cada vehículo, se calcularán las emisiones y el consumo para saber el beneficio económico. En cuanto a la autonomía, será una restricción en los vehículos eléctricos.

	Vito Largo, Furgón, 114 CDI, (Diésel)	Vito Furgón 126 Larga 258 CV (Gasolina)	Master ZE 2019 L1H1 (Eléctrica)	Master ZE 2025* (Eléctrica teórica)
<b>Precio</b>	32355,40	41836	70077	70077
<b>Capacidad</b>	873 kg	955 kg	1130 kg	1130 kg
<b>Volumen</b>	6,8 m <sup>3</sup>	6,5 m <sup>3</sup>	8 m <sup>3</sup>	8 m <sup>3</sup>
<b>Emisiones</b>	191 g/km	244 g/km	80*g/km	80*g/km
<b>Consumo</b>	7,3l/100km	9,2 l/100km	15,2 kWh/100 km	15,2 kWh/100 km
<b>Autonomía</b>	-	-	120km	500km

Tabla 6. Características furgonetas. Fuentes: Van Online Configurator | Mercedes-Benz, n.d., Datos y Ficha Técnica Mercedes-Benz Vito Furgón 126 Larga FAP 258 CV - Arpem.Com -, n.d., (Bickerstaffe, 2010)

Se incorpora la última columna de la Tabla 5 con una suposición de una furgoneta con autonomía de 500km, valor conseguido actualmente por el modelo S de Tesla (Tesla, 2018).

Las ventas de vehículos comerciales eléctricos en España se han incrementado durante los últimos años hasta en 1800 unidades vendidas en 2018.

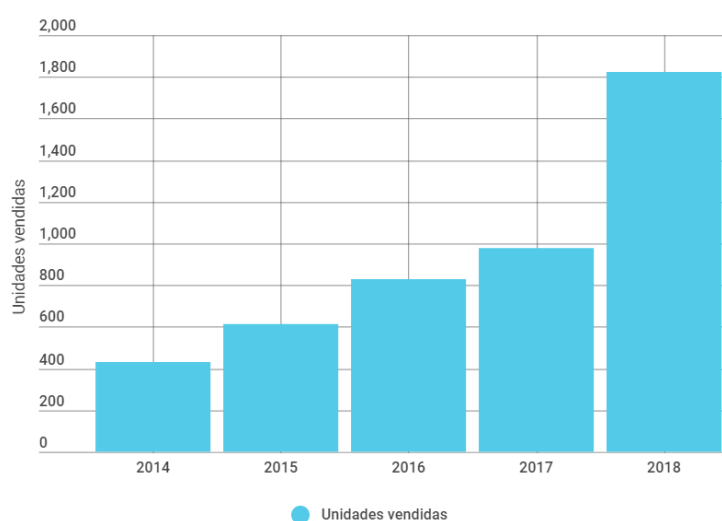


Figura 315. Evolución ventas vehículos comerciales eléctricos en España. Fuente: Vehículos Comerciales Eléctricos 2020 | Guía de Compra | Comparativa Opiniones, 2020.

#### 6.1.4 Capacidad

A la hora de saber si cabrá la mercancía en el vehículo se tendrá en cuenta tanto el peso máximo que se puede transportar, como el volumen disponible para la carga.

El volumen de los pedidos es fundamental en la elección del tamaño y tipo de vehículo. El pedido on-line de los supermercados está compuesto por un elevado número de referencias que presentan diferentes volúmenes. Para los cálculos se supone la utilización de 3,5 cajas Eurobox de media, de medidas: 60x40x32 cm, la cual puede contener hasta 65 litros.



Figura 32. Caja de plástico para reparto. Fuente: Amazon, n.d.

En este supuesto se tienen que entregar 28 pedidos, lo que supondría necesario un volumen de 6,37 m<sup>3</sup>.

Para calcular cuántos pedidos se podrán servir por cada furgoneta según el volumen disponible se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Pedidos por furgoneta} = \frac{\text{Volumen disponible furgoneta}}{\text{Volumen de cada pedido}} \quad (9)$$

Ecuación 9. Pedidos por furgoneta en función del volumen. Fuente: Elaboración propia.

- Diésel:  $6,8 / (0,065 * 3,5) = 29$  pedidos
- Gasolina:  $6,5 / 0,2275 = 28$  pedidos
- Eléctrica:  $8 / 0,2275 = 35$  pedidos

Por lo que, con esta restricción, se necesitarían 1 furgoneta en todos los tipos de furgonetas para la distribución de 28 pedidos de este supuesto.

#### 6.1.5 Emisiones

Como se ha mencionado en el apartado de “Antecedentes”, para evaluar los vehículos eléctricos y su carga, hay que tener en cuenta las emisiones que se han producido en su ciclo de vida. La agencia europea T&E (Transport & Environment) ha presentado una herramienta online que recoge todos los datos y estudios recientes acerca de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al uso de vehículos: gasolina, diésel y eléctricos. Con esta herramienta, se han comparado las emisiones de un vehículo eléctrico conducido en España con un diésel en Europa.

## Are electric cars better?

Compare the lifetime CO2 emissions of an electric car with a petrol car, a diesel car or another electric car.

Year of purchase

2020 ▼

Vehicle Segment

Medium car (ex: Volkswagen Golf) ▼

**Technology**


Electric

Electricity used for battery production ⓘ

EU average ▼

Country where the electric car is driven ⓘ

Spain ▼



VS

**Technology**

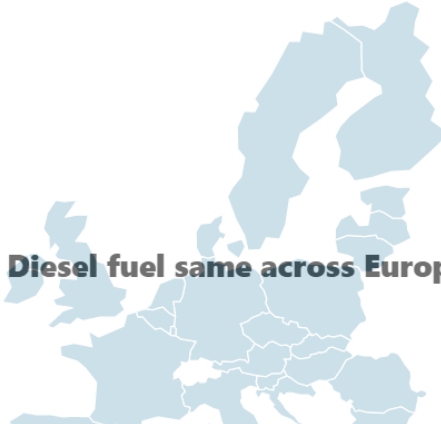
Diesel ▼

Electricity used for battery production ⓘ

EU average ▼

Country where the electric car is driven ⓘ

Sweden ▼



**Diesel fuel same across Europe**

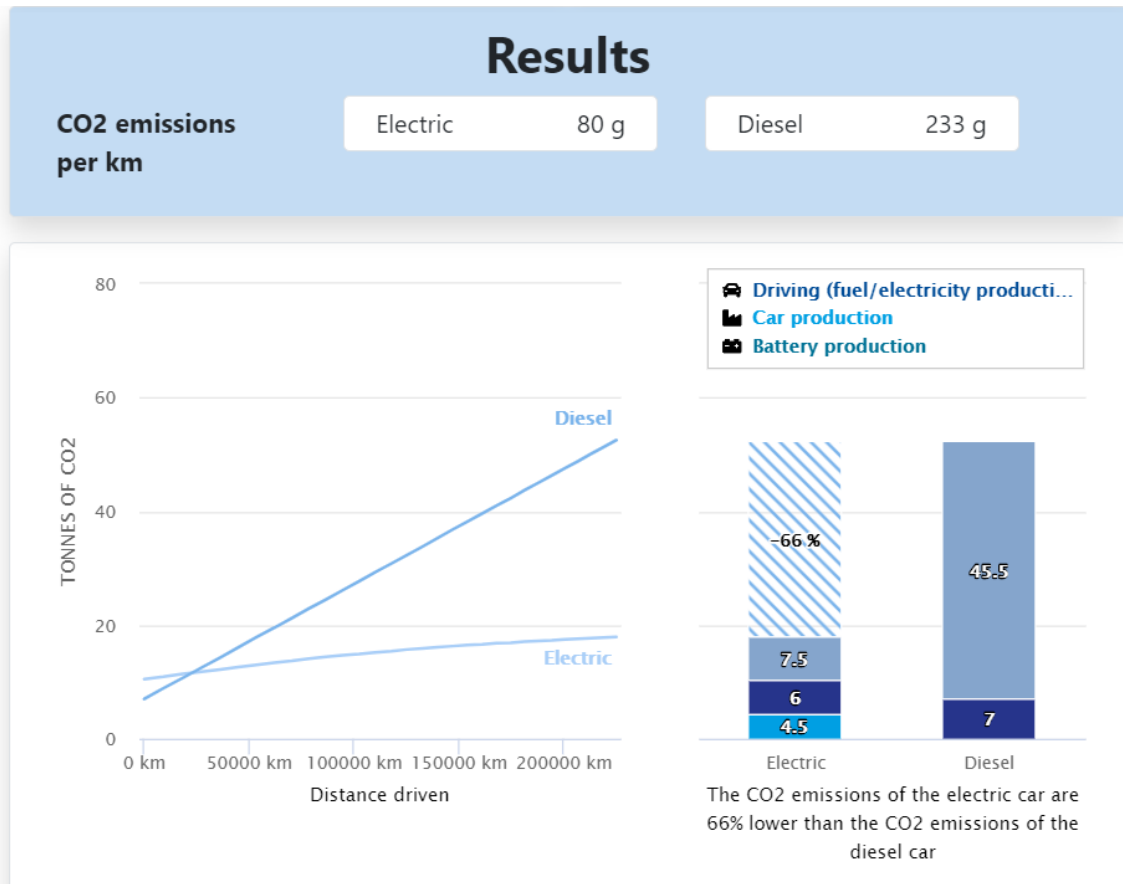


Figura 33. Emisiones de CO2 coches eléctricos. Fuente: Pierre Dornier, 2020.

Con estos datos escogemos 80g/km como dato para las emisiones de la furgoneta Kangoo ZE. Cabe destacar que, según esta página, los gramos por kilómetro de un coche diésel son 233, pero dejamos los datos que nos proporciona la ficha técnica de este vehículo, aunque no tenga en cuenta otros factores aparte de las emisiones en el transporte.

### 6.1.6 Autonomía

La autonomía del Renault Master ZE es de 200 km en ciclo NEDC (New European Driving Cycle), norma europea de medida de las emisiones y del consumo. Se realizan tests de ensayo que plantean datos más altos de la realidad al no ser del todo realistas. Ahora se utiliza el ciclo WLPT (World-wide harmonized Light duty Testing procedure o Procedimientos Mundial Armonizado para el Ensayo de Vehículos Ligeros). Este sistema de ensayo es capaz de determinar con mayor precisión y realismo las cifras de emisiones y consumo de vehículos, que hace que cambien los valores, a 120 o 200 km según las condiciones de temperatura, en uso real medido sobre ciclo de reparto (Renault, 2018).

En la página Web de Renault anuncian una autonomía de 120 km en condiciones reales. Aseguran más de 80 km incluidos en los casos de uso más exigentes (carga elevada, conducción en centro urbano con paradas frecuentes, condiciones invernales...). El consumo en uso real depende también del equipamiento, el estilo de conducción del conductor y la topografía.



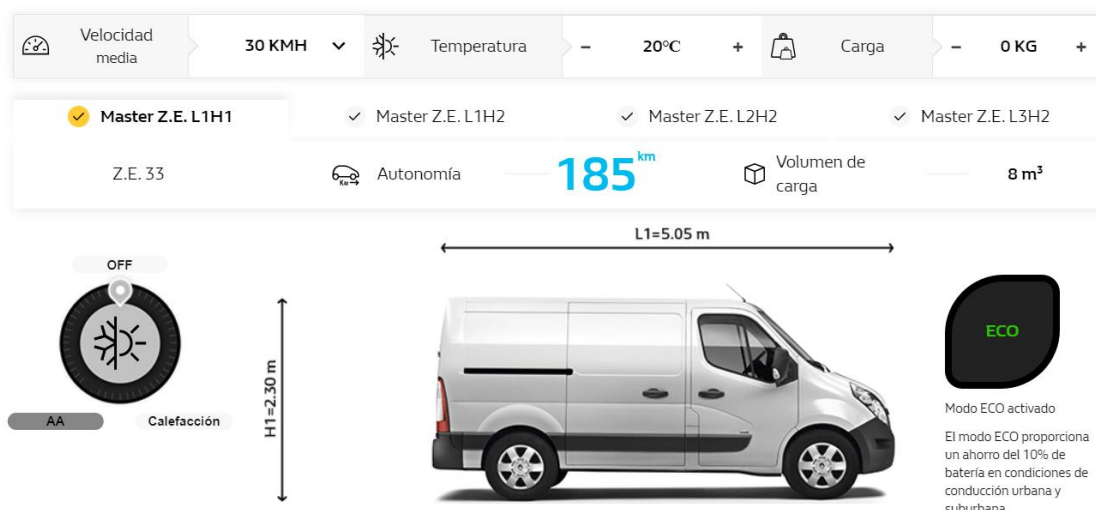


Figura 34. Autonomía Renault Master ZE. Fuente: Autonomía y Recarga MASTER Z.E.: Baterías - Renault, n.d.

Dispone de un modo “eco” de la climatización para optimizar el radio de acción. Además, las buenas prácticas de la ecoconducción eléctrica permiten conseguir decenas de kilómetros extra. Además, sus neumáticos de bajo consumo ayudan a preservar la autonomía sin reducir el agarre en carretera.

Por lo tanto, como se ha indicado en la Tabla 6, se ha escogido que cuenta con una autonomía real de 120 km.

El modelo supuesto teóricamente (Master ZE 2025), contaría con una autonomía futura estimada en 500 km, dato estimado para 2025 y que actualmente tienen vehículos como el Tesla Model S (Tesla, 2018).

En cuanto a las cargas, el nuevo cargador de 7 kW permite una recarga completa en 6 h y una hora es suficiente para recuperar 35 km de autonomía. La carga en una toma doméstica estándar dura alrededor de 17 horas, y con la recarga pública se puede recargar hasta 35 km en una hora (Renault, 2018). Esta casuística no se tendrá en cuenta a la hora de planificar los viajes.

### 6.1.7 Precio de los carburantes y kWh

En la tabla de las características de los vehículos (Tabla 3), se indica el consumo de cada uno de ellos. Este dato lo utilizaremos para calcular el coste que supondrán los trayectos, por lo que debemos conocer el precio de los carburantes y kWh de la electricidad.

En la página web del Ministerio para la Transición Ecológica, existe una aplicación para consultar el histórico de precios de los carburantes en cada provincia. Se han obtenido los datos de Valencia desde el año 2016 al 2020.

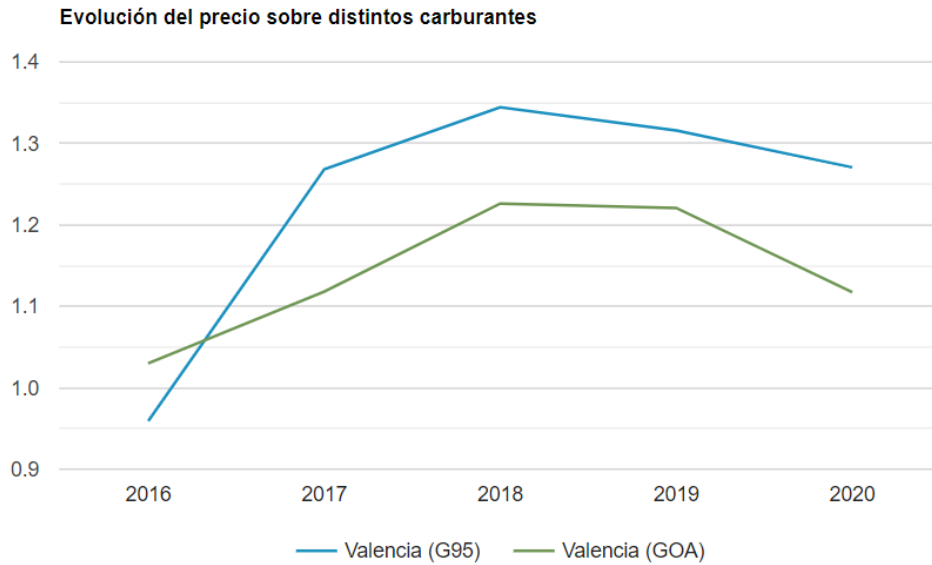


Figura 35. Evolución de precio carburantes Valencia. Fuente: Histórico de Precios, 2020.

Se puede observar que el precio de la gasolina ha variado desde 0,95 hasta 1,35 €/litro. Y el precio del diésel desde 1,05 hasta 1,10 €/litro.

También se han obtenido datos del precio medio en España, obteniendo lo siguiente:

Combustible	Precio 1 de febrero
Sin plomo 95	1,313 euros/litros
Sin plomo 98	1,456 euros/litros
Gasóleo A	1,223 euros/litros
Gasóleo A+	1,311 euros/litros

Figura 36. Precio gasolina y diésel en España 1 de febrero 2020. Fuente: Precio de La Gasolina y Diesel HOY En Las Gasolineras de España, 2020.

Existe un descuento para transportistas, el gasóleo profesional. “Desde el día 1 de enero de 2019, la devolución es la suma del importe positivo resultante de restar 306 euros/1.000 litros del tipo general del epígrafe 1.3 del artículo 50 de la Ley 38/1992; más el importe de 48 euros/1.000 litros del tipo especial de este epígrafe” (*¿A Cuánto Ascende La Devolución? - Agencia Tributaria, 2020*).

En el apartado de Carburante de la aplicación ACOTRAM 3.1.0, un asistente para el cálculo de costes del transporte de mercancías por carretera, proporcionada por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, se tienen en cuenta los siguientes descuentos, aplicados tanto a diésel como a gasolina:

- Descuento conseguido en España en el precio del carburante del vehículo de tracción: 0.0576 euros/litro.

- Descuento del IVA del 21%.
- Devolución por gasóleo profesional en el carburante adquirido en España (MMA >= 7,5t y 50.000 litros máximos): 0,0370 euros/litro.

Carburante del vehículo de tracción		
Precio de adquisición	Repostaje en España (Euros / litro)	Repostaje en el extranjero (Euros / litro)
- Distribución del repostaje	% 100,0	
- Precio del carburante con IVA	1,2230	
- Descuento	0,0576	
	% 4,7	
- IVA aplicado al carburante	% 21,0	
	0,2023	
- Precio de adquisición sin IVA	0,9631405	
Devolución por gasóleo profesional en el carburante adquirido en España (MMA >= 7,5t y 50.000 litros máximos)		Euros / litro 0,037
Consumo medio del vehículo de tracción		litros / 100 km 5,6

Figura 37. Descuentos carburante. Fuente: Aplicación ACOTRAM 3.1.0.

Por lo tanto, el precio que se utilizará será de 0,93€/litro para el diésel y 1€/litro para la gasolina.

Como se ha comentado en el apartado de Antecedentes-Vehículos eléctricos, el coste de carga de un vehículo eléctrico depende de numerosos factores. Como nos basamos en una empresa de comercio electrónico de alimentos, tomamos como precio del kWh 1,19€/100 km (0.06648 €/kWh), ya que es el menor precio y esta empresa podría negociar los precios con sus proveedores.

#### 6.1.8 Otros costes:

A la hora de realizar las comparaciones económicas entre las diferentes flotas, se tendrán en cuenta otros costes como:

- Mantenimiento y reparaciones: Un coche eléctrico no tiene embrague, ni aceite, ni filtros, ni correas de distribución... por lo que su mantenimiento es mucho más sencillo. Según el informe (Renault, 2017) de la Cámara de Comercio de España, el mantenimiento de un coche eléctrico sería de hasta un 30 % menor.

No se tendrán en cuenta costes como el personal de conducción, seguros, dietas o peajes entre otros, debido a que serían los mismos para todos los tipos de vehículos.

Se utilizará la aplicación informática ACOTRAM 3.1.0 como apoyo para cálculos de costes, ya que contiene información útil como los descuentos a carburantes anteriormente comentados, así como ser una forma rápida de calcular.

**FURGONETA****Costes directos a 31 de enero de 2017**

Hipótesis: Furgoneta (MMA=3.500 kg y carga útil=1.500 kg)  
Kilómetros anuales recorridos= 50.000

	COSTES DIRECTOS ANUALES	
	Euros (€)	Distribución (%)
<b>Costes directos</b>	<b>49.286,81</b>	<b>100,0%</b>
<b>Costes por tiempo</b>	<b>41.470,78</b>	<b>84,1%</b>
Amortización del vehículo	2.031,13	4,1%
Financiación del vehículo	146,53	0,3%
Personal de conducción	31.757,00	64,4%
Seguros	4.205,89	8,5%
Costes fiscales	594,23	1,2%
Dietas	2.736,00	5,6%
<b>Costes kilométricos</b>	<b>7.816,03</b>	<b>15,9%</b>
Combustible	5.444,63	11,0%
Neumáticos	526,40	1,1%
Mantenimiento	790,00	1,6%
Reparaciones	1.055,00	2,1%

No se calcula el coste por kilómetro por no ser la unidad en la que se abona este tipo de transporte.

Nota: estos costes directos corresponden a la media nacional en las condiciones indicadas de explotación de este tipo de vehículo.

La personalización de estos costes para cada caso particular se puede realizar con la aplicación informática ACOTRAM ([www.fomento.gob.es](http://www.fomento.gob.es)).

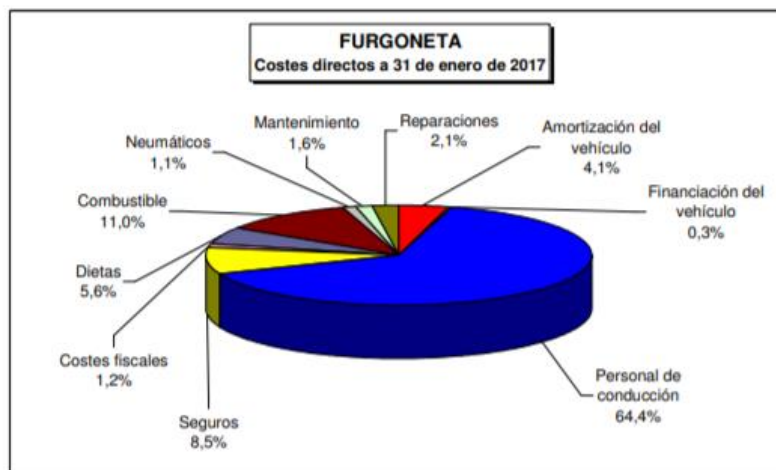


Figura 38. Costes generales furgoneta. Fuente: Dirección General de Transporte Terrestre, 2017.

Para el cálculo de costes de la furgoneta eléctrica, se utilizará la misma aplicación, pero al no existir otra opción que no sea de carburantes, este apartado se calculará aparte.

En Antecedentes se ha comentado que según el artículo J. Edwards et al., 2011 se establecen tres tasas de fallos de entrega: del 25%, del 12% y del 2%. La tasa de fallos aumentaría los costes de distribución. Por ello, se utilizará una tasa de fallo del 10%, que afectará a las distancias recorridas y por lo tanto también a los costes.

### 6.1.9 Cálculo de emisiones y costes por ciudad

Con los datos obtenidos por Visual Basic: rutas, kilómetros y número de furgonetas, se obtendrán las emisiones y los costes por pedido, semanales, mensuales y anuales para Valencia. Posteriormente, se realizarán para las 10 ciudades con mayor densidad de población de España.

Para ello, lo primero que se debe hacer es estimar cuántos pedidos se han de servir en cada población. En el apartado de “Antecedentes” en la Tabla 1 se ha indicado el % de pedidos de alimentación por Internet en cada Comunidad Autónoma según un estudio de El ONTSI. Con este dato se calcularán los pedidos diarios.

En la siguiente tabla se enumeran las 10 ciudades con más densidad de población en España y el número de habitantes de cada una. Para estimar el número de pedidos, se tiene en cuenta un promedio de 4 personas por núcleo familiar. Se estima una compra cada dos semanas por cada núcleo familiar. Además, se supone que nuestra empresa se encarga del 30% de los pedidos totales en cada ciudad.

CIUDAD	Habitantes	Número Núcleos Familiares	% Pedidos	Pedidos	Pedidos Diarios a la empresa
<b>Madrid</b>	3.200.000	800.000	28.1	224.800	4817
<b>Barcelona</b>	1.600.000	400.000	23.9	95.600	2049
<b>Valencia</b>	800.000	200.000	18	36.000	771
<b>Sevilla</b>	688.000	172.000	14.7	25.284	542
<b>Zaragoza</b>	660.000	165.000	18.3	30.195	647
<b>Málaga</b>	570.000	142.500	14.7	20.947,5	449
<b>Murcia</b>	440.000	110.000	13.4	14.740	316
<b>Palma de Mallorca</b>	410.000	102.500	13.5	13.837,5	297
<b>Las Palmas de Gran Canaria</b>	380.000	95.000	10.9	10.355	222
<b>Bilbao</b>	350.000	87.500	22.3	19.512,5	418

Tabla 7. Pedidos por número de habitantes. Elaboración propia.

### 6.2 RESULTADO EMISIONES

El programa utilizado para Visual Basic de Excel, en el que se ha utilizado el Algoritmo de Clarke and Wright para resolver el problema de Rutas de Vehículos, (código escrito en [Anexo](#)), teniendo en cuenta todas las restricciones anteriormente mencionadas, ha dado como resultado para cada supuesto:

TIPO	FURGONETAS	Nº DOMICILIOS VISITADOS	DISTANCIA RECORRIDA (km)	CAPACIDAD OCUPADA (kg)
Diésel	1	28	198	551
Gasolina	1	28	198	551
Eléctrica	1	17	120	339
	2	11	83	212
Teórica	1	28	198	551

Tabla 8. Resultados Visual Basic. Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar que el resultado obtenido de Distancia Recorrida es un 10% mayor debido a la tasa de fallos utilizada. La distancia media recorrida por cada pedido de estas furgonetas es de:

- Diésel: 7 km/pedido.
- Gasolina: 7 km/pedido.
- Eléctrica: 7,25 km/pedido.
- Teórica: 7 km/pedido.

Se necesita 1 furgoneta para la realización de la entrega de los 28 pedidos en todos los casos menos en la furgoneta eléctrica.

A partir de estos datos se han calculado los kg de CO<sub>2</sub> emitidos en cada ruta y entrega:

TIPO FURGONETA	EMISIONES RUTA (kg)	EMISIONES POR ENTREGA (kg)
Diésel	37,82	1,35
Gasolina	48,31	1,72
Eléctrica	16,24	0,58
Eléctrica Teórica	15,84	0,56

Tabla 9. Comparación emisiones. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, las emisiones de la furgoneta Master ZE (Eléctrica y Teórica), son considerablemente menores a las diésel y gasolina. Es cierto que se contaba desde un principio con este resultado, pero cabe destacar que este es un supuesto con ventaja para las furgonetas diésel y gasolina debido a que no se han tenido en cuenta las emisiones de todo el ciclo de vida, sino que solo las emisiones en el trayecto, mientras que en la eléctrica se ha tenido

en cuenta todo porque en el trayecto las emisiones son 0. Por ello, los resultados serían incluso más favorables para las furgonetas eléctricas.

A continuación se indican las furgonetas necesarias de la empresa para cada ciudad, suponiéndose que en una ruta para furgonetas Diésel (D), Gasolina (G) y Teórica (T) se realizan 28 pedidos (de esta forma simplificamos los cálculos) y para las furgonetas Eléctricas (E), 17 pedidos, que como hemos visto en la [Tabla 8](#) es el máximo de capacidad que puede realizar debido a la limitación de su autonomía. Junto a este cálculo, también se calculará la distancia recorrida total y las emisiones según el tipo de furgoneta escogido.

CIUDAD	Pedidos Diarios	Furgonetas necesarias		Distancia recorrida total (km)		Emisiones (kg)			
		D, G y T	E	D, G y T	T	D	G	E	T
<b>Madrid</b>	4817	172	283	33.719	34.923	6.440	8.227	2.794	2.698
<b>Barcelona</b>	2049	73	120	14.343	14.855	2.740	3.500	1.188	1.147
<b>Valencia</b>	771	28	45	5.397	5.590	1.031	1.317	447	432
<b>Sevilla</b>	542	20	32	3.794	3.930	725	926	314	304
<b>Zaragoza</b>	647	23	38	4.529	4.691	865	1.105	375	362
<b>Málaga</b>	449	16	26	3.143	3.255	600	767	260	251
<b>Murcia</b>	316	11	19	2.212	2.291	422	540	183	177
<b>Palma de Mallorca</b>	297	11	17	2.079	2.153	397	507	172	166
<b>Las Palmas de Gran Canaria</b>	222	8	13	1.554	1.610	297	379	129	124
<b>Bilbao</b>	418	15	24	2.926	3.031	559	714	242	234

Tabla 10. Furgonetas, distancias y emisiones por ciudad. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar, el número de furgonetas eléctricas necesarias es muy superior al de los demás tipos. Esto aumentará mucho los costes como veremos a continuación. También se recorren más kilómetros con las eléctricas, por lo que se aumentan las emisiones, pero siguen siendo mucho menores que en el caso de las furgonetas diésel y gasolina.

La mejor opción es la furgoneta eléctrica teórica, ya que recorre los mismos kilómetros que las de diésel y gasolina al contar con una autonomía y la contaminación, por ejemplo, en el caso de Madrid bajaría desde 8.227 kg hasta 2.698 kg diarios.

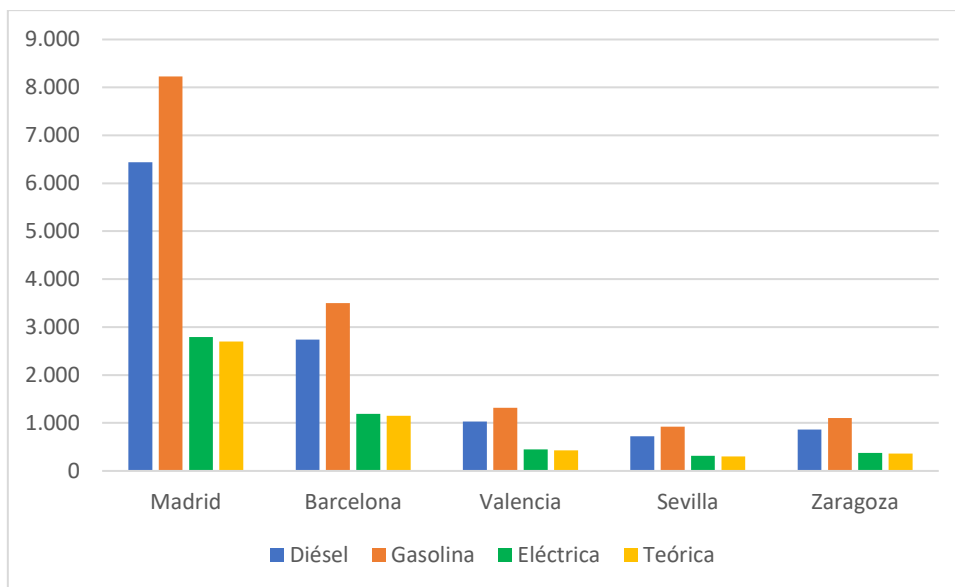


Figura 39. Emisiones CO<sub>2</sub> diarias 5 ciudades más densas de España. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, esta es la mejor opción para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y así combatir el cambio climático y sus consecuencias, optando por el desarrollo sostenible para no comprometer las posibilidades de las generaciones futuras.

También es la mejor opción a la hora de mejorar la calidad del aire de las ciudades, ya que como se ha comentado anteriormente, los 80g/km provienen del ciclo de vida total del vehículo eléctrico, y en realidad, el uso de vehículos eléctricos dentro de las ciudades no empeoraría la calidad del aire de estas.

Además, su uso supone una ventaja competitiva debido al cierre de algunos centros de ciudades a los vehículos de combustión. Los vehículos eléctricos tienen acceso a todos ellos.

La imagen de la empresa se vería mejorada, puesto que la concienciación de la población en cuanto a las emisiones y el cambio climático es cada vez mayor. Así, podría atraer a un mayor número de clientes que tal vez no hicieran pedidos debido a la contaminación de las furgonetas en el reparto.

### 6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se analiza el coste económico que supone la implantación de cada tipo de furgoneta, realizando una comparación entre los costes en los que se diferencian. Los cálculos se han realizado a partir de los resultados obtenidos por Visual Basic, además de con la ayuda de la aplicación ACOTRAM en su apartado 'Furgoneta'.

Esta primera parte se divide en 3 puntos: Amortización y Financiación de las furgonetas, Combustible y kWh, y Mantenimiento y Reparaciones. Todos ellos se han calculado para el supuesto de la ciudad de Valencia, en el que se estima 771 pedidos diarios a la empresa y 28 furgonetas Diésel, Gasolina o Teóricas y 45 Eléctricas ([Tabla 7](#)).



- **Amortización y Financiación de las furgonetas:** Con el precio de las furgonetas, se toma una vida útil de 8 años para todas las furgonetas para calcular la amortización, y un período de 5 años con un 3,89% de interés anual de la financiación.

Amortización	
Valor de adquisición:	
- Precio de tarifa sin IVA (Euros)	32.355,40
- Descuento sobre tarifa (%)	10,0
- Precio de adquisición sin IVA (Euros)	29.119,86
- Valor sin IVA de los neumáticos en el momento de la compra del vehículo (% sobre el precio actual de los mismos)	100
- Precio de adquisición sin neumáticos y sin IVA (Euros)	28.465,42
Vida útil (años)	8,0
Valor residual:	
- Valor residual sobre precio de tarifa (%)	15,0
- Valor residual sin IVA (Euros)	4.853,31
Financiación	
	% sobre el precio de adquisición    Euros
Capital a financiar	100,0    29.119,86
Periodo de financiación (años)	5,0
Interés anual de la financiación (%)	3,89

Figura 40. Datos Amortización y Financiación predefinidos. Fuente: ACOTRAM.

	Vito Largo, Furgón, 114 CDI, (Diésel)	Vito Furgón 126 Larga 258 CV (Gasolina)	Master ZE 2019 L1H1 (Eléctrica)	Master ZE 2025* (Eléctrica teórica)
<b>Precio</b>	32.355	41.836	70.077	55.000
<b>Amortización anual</b>	2.951	3.840	6.488	5.074
<b>Financiación anual</b>	435	563	943	740
<b>Coste anual 1 furgoneta</b>	3.387	4.403	7.431	5.814
<b>Coste total anual</b>	94.839	123.299	334.410	162.801
<b>Coste mensual</b>	7.903	10.275	27.867	13.567
<b>Coste semanal</b>	1.976	2.569	6.967	3.392
<b>Coste por entrega</b>	0,37	0,48	1,29	0,63

Tabla 11. Amortización y Financiación furgonetas. Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar el precio de la furgoneta eléctrica es muy superior a las de combustión fósil. Es por esto por lo que no es todavía la opción normalmente escogida por las empresas, puesto que supone un gran desembolso inicial. Se espera una disminución de estos costes en un futuro próximo.

- **Combustible y kWh:** Se tienen en cuenta los kilómetros por entrega y los precios de carburantes junto con los descuentos anteriormente mencionados (Desarrollo experimental). Se utiliza el supuesto de 771 pedidos diarios en Valencia.

	Vito Largo, Furgón, 114 CDI, (Diésel)	Vito Furgón 126 Larga 258 CV (Gasolina)	Master ZE 2019 L1H1 (Eléctrica)	Master ZE 2025* (Eléctrica teórica)
<b>Kilómetros/entrega</b>	7	7	7,25	7
<b>Consumo (l o kWh/100km)</b>	7,3	9,2	28,5	28,5
<b>Precio carburante-kWh (€/l o kWh)</b>	0.93	1	0,06648	0,06648
<b>Precio total por entrega (€)</b>	0,48	0,64	0,14	0,13
<b>Precio total semanal</b>	2.565	3.476	741	701
<b>Precio mensual</b>	10.992	14.896	3.177	3.007
<b>Precio total anual</b>	131.905	178.749	38.127	36.083

Tabla 12. Costes carburantes y kWh. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, el ahorro al utilizar electricidad en lugar de carburantes es notable. Este ahorro dependerá de a cuánto se consiga el kWh, ya que se ha comentado anteriormente que puede ser muy diferente según dónde se cargue el vehículo y en este caso se ha supuesto la opción más económica. A la hora de cargar el vehículo habría que tener en cuenta el horario disponible para ello, siendo la noche la mejor opción respecto al precio de la electricidad.

- **Mantenimiento y reparaciones:** Para las furgonetas de diésel y gasolina, en la aplicación ACOTRAM viene predefinido el Coste de Mantenimiento y Reparaciones. Así que suponemos ese coste para nuestras furgonetas. Mientras que la eléctrica, como se ha comentado anteriormente en Desarrollo Experimental, será un 30% menor. Se toman los 771 pedidos en Valencia.

<b>Mantenimiento y Reparaciones</b>		
	<b>Coste kilométrico sin IVA (Euros / km)</b>	<b>Coste anual sin IVA (Euros)</b>
<b>Mantenimiento</b>	0,008642	432,10
<b>Reparaciones</b>	0,015364	768,20

Figura 41. Coste Mantenimiento y Reparaciones Fuente: ACOTRAM.

	Vito Largo, Furgón, 114 CDI, (Diésel)	Vito Furgón 126 Larga 258 CV (Gasolina)	Master ZE 2019 L1H1 (Eléctrica)	Master ZE 2025* (Eléctrica teórica)
<b>Mantenimiento</b>	0,060	0,060	0,044	0,042
<b>Reparaciones</b>	0,105	0,105	0,078	0,073
<b>Total por entrega</b>	0,165	0,165	0,122	0,116
<b>Semanales</b>	891	891	658	626
<b>Mensuales</b>	3.816	3.816	2.822	2.683
<b>Anuales</b>	45.797	45.797	33.862	32.197

Tabla 13. Coste por entrega de Mantenimiento y Reparaciones. Fuente: Elaboración propia.

Los vehículos eléctricos presentan costes menores en mantenimiento, por lo que a la larga pueden ser la mejor opción. Estos son los costes que se utilizarán para comparar qué opción es más rentable en Valencia. En esta tabla se recogen todos los costes por entrega, semanales, mensuales y anuales en Valencia:

	Descripción	Vito Largo, Furgón, 114 CDI, (Diésel)	Vito Furgón 126 Larga 258 CV (Gasolina)	Master ZE 2019 L1H1 (Eléctrica)	Master ZE 2025* (Eléctrica teórica)
<b>POR ENTREGA</b>	Amortización y financiación	0,37	0,48	1,29	0,63
	Combustible y kWh	0,48	0,64	0,14	0,13
	Mantenimiento y reparaciones	0,165	0,165	0,122	0,116
	<b>TOTAL</b>	<b>1,02</b>	<b>1,29</b>	<b>1,55</b>	<b>0,88</b>
<b>SEMANAL</b>	Amortización y financiación	1.976	2.569	6.967	3.392
	Combustible y kWh	2.565	3.476	741	701
	Mantenimiento y reparaciones	891	891	658	626
	<b>TOTAL</b>	<b>5.432</b>	<b>6.936</b>	<b>8.366</b>	<b>4.719</b>
<b>MENSUAL</b>	Amortización y financiación	7.903	10.275	27.867	13.567
	Combustible y kWh	10.992	14.896	3.177	3.007
	Mantenimiento y reparaciones	3.816	3.816	2.822	2.683
	<b>TOTAL</b>	<b>22.711</b>	<b>28.987</b>	<b>33.866</b>	<b>19.257</b>
<b>ANUAL</b>	Amortización y financiación	94.839	123.299	334.410	162.801
	Combustible y kWh	131.905	178.749	38.127	36.083

Mantenimiento y reparaciones	45.797	45.797	33.862	32.197
TOTAL	272.541	347.845	406.399	231.081

Tabla 14 Costes totales para una furgoneta. Fuente: Elaboración propia.

El coste total de las furgonetas eléctricas es muy superior a las demás puesto que el coste de adquisición de una furgoneta eléctrica todavía es alto en el mercado (77.077€). A esto hay que añadir que la poca autonomía de las furgonetas (120 km) hace necesaria un mayor número de ellas para entregar la misma cantidad de pedidos.

Al tener tan solo 120 km de autonomía su uso no es rentable en la actualidad, por ello la industria debe volcarse en incrementar la autonomía de los vehículos eléctricos.

Como vemos en el caso teórico, al tener una autonomía de 500 km esto cambia. Se utilizan el mismo número de furgonetas que en el caso de las furgonetas diésel y gasolina. Se ha supuesto que el precio de las furgonetas eléctricas disminuirá un poco con el paso de los años, ya que ahora están entrando en el mercado y es cuestión de tiempo que se vuelvan más asequibles.

Además, el ahorro que supone el uso de electricidad en lugar de combustible y el ahorro en mantenimiento y reparaciones, haría de esta la opción más económica y rentable. Dependiendo de la evolución tecnológica, política y de la demanda del mercado, se espera que los vehículos eléctricos aumenten su beneficio técnico y económico en la distribución de la última milla.

La Unión Europea está preparando un programa para lograr salir de la crisis producida por el COVID-19, de la forma más sostenible posible, dando un impulso definitivo al coche eléctrico en los próximos dos años (Noya, 2020). Por un lado, los fabricantes que opten por producir coches eléctricos podrán acceder a ayudas y financiación extra para poder recuperarse del enorme impacto de la crisis sanitaria. Además, Bruselas habilitará a los estados a poder aplicar la exención del IVA a los coches eléctricos.

La UE es consciente de que, sin una buena red de recarga, las ventas seguirán siendo débiles. Por ello prepara un plan para ampliar dicha infraestructura, con la instalación de 2 millones de puntos de recarga públicos en los próximos cinco años.

A continuación, se indican los costes diarios en relación con las 10 ciudades más pobladas de España:

CIUDAD	Pedidos Diarios	Coste diario			
		Diésel	Gasolina	Eléctricas	Teóricas
<b>Madrid</b>	4817	4.913	6.214	7.466	4.239
<b>Barcelona</b>	2049	2.090	2.643	3.176	1.803
<b>Valencia</b>	771	786	995	1.195	678
<b>Sevilla</b>	542	553	699	840	477
<b>Zaragoza</b>	647	660	835	1.003	569
<b>Málaga</b>	449	458	579	696	395
<b>Murcia</b>	316	322	408	490	278
<b>Palma de Mallorca</b>	297	303	383	460	261
<b>Las Palmas de Gran Canaria</b>	222	226	286	344	195
<b>Bilbao</b>	418	426	539	648	368

Tabla 15. Costes diarios ciudades. Fuente: Elaboración propia.

Si la industria del automóvil se centra en aumentar la autonomía de los vehículos eléctricos con mejores baterías y se reducen los precios de venta de estas furgonetas, la opción de utilizar flotas de furgonetas eléctricas será la mejor en todos los sentidos.

Diferentes multinacionales están optando por este camino. Por ejemplo, Amazon España ha anunciado la incorporación de 100 furgonetas eléctricas a la flota de sus socios de reparto y 80 nuevos puntos de carga en una de sus estaciones logísticas en Madrid (Fuentes, 2020).

Amazon planea comenzar a utilizar estos nuevos vehículos eléctricos para entregar paquetes a los clientes en el año 2021, con los primeros 10.000 nuevos vehículos ya en circulación a comienzos de 2021 y los 100 000 vehículos disponibles para el año 2030.

Por otro lado, el gigante del comercio electrónico instalará al sureste de Sevilla una granja solar que promete proporcionar 149 megavatios de energía renovable y se espera que genere más de 300.000 MWh al año para la red logística y los centros de datos de Amazon Web Services en el país.

Es cuestión de tiempo que más empresas se unan a esta iniciativa, pudiendo ser compatible con el beneficio empresarial apostar por el medioambiente.

## 7. CONCLUSIONES

Es necesario un cambio en el modelo actual de transporte. El efecto de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por los combustibles fósiles en el medio ambiente, con el aumento de desastres naturales y enfermedades, obliga a plantear un nuevo escenario. A ello se le une el agotamiento progresivo del petróleo que, con una duración prevista de 40 años, obliga a la sustitución de los carburantes provenientes de este.

El incremento de población en las ciudades, junto con el creciente uso de las nuevas tecnologías y con ello el auge del comercio electrónico, hace que el volumen del transporte de las empresas aumente, por lo que cada vez las emisiones serían mayores si en un futuro todo siguiera igual. Por ello, es necesario buscar alternativas que desvinculen el aumento de suministro de mercancías, la movilidad y la logística del aumento de las emisiones relacionadas con el transporte.

Las entregas a domicilio, cada vez mayores, pueden ser un problema para la calidad del aire en las ciudades. Este ya es un tema actual y ha supuesto el cierre de numerosos centros de ciudades a vehículos contaminantes.

La opción estudiada en este trabajo, el cambio de una flota de vehículos de combustión fósil (diésel y gasolina) a una flota de furgonetas eléctricas, es la mejor opción para promover el desarrollo sostenible y así no comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro. Además, al poseer la etiqueta de cero emisiones, pueden acceder a cualquier centro urbano. Esto serviría tanto para el caso estudiado (*e-commerce* de alimentos), como para otras empresas.

El uso de furgonetas eléctricas supone una importante innovación en la cadena de suministro de las empresas. Este trabajo se ha centrado en la última milla, pero podría extenderse a toda la cadena de suministro y potenciar el transporte eléctrico y el uso de energía renovable. Su utilización crearía una distribución de baja o nula emisión, aproximándose a una Cadena de Suministro Verde, objetivo promovido por Naciones Unidas.

Además, esta opción supone una mejora importante en la imagen de las empresas al promover mejoras en el medio ambiente. La percepción que se tendrá de ellas será mucho más positiva debido a la concienciación actual de la población acerca de la contaminación y los problemas medioambientales.

Aun así, actualmente sigue siendo la opción menos rentable para las empresas debido a los altos costes de adquisición de estas furgonetas. Las empresas deberían hacer un gran desembolso inicial, y la autonomía que tienen las furgonetas eléctricas actualmente en el mercado implicaría la compra de un mayor número de ellas.

Por lo tanto, el principal inconveniente, la autonomía, debe ser más estudiado por los sectores científicos y tecnológicos. Éstos deben de incrementar su cooperación para hacer frente en los próximos años a este reto. El Modelo S de Tesla es capaz, en la actualidad, de alcanzar 500 km de autonomía, por lo que es cuestión de tiempo que se encuentren soluciones a este problema.

Junto a esto, progresivamente el precio de venta de las furgonetas eléctricas y sus baterías irá disminuyendo al tener una mayor demanda de mercado, además de las ayudas que se plantean en los años próximos por los gobiernos y la política europea. Por lo que, como se ha supuesto en el modelo teórico, esta pasará a ser la opción que más beneficios nos aportará en un futuro, debido a tener menores costes tanto en consumo como en mantenimiento.

Todo el sistema de estructuras logísticas está actualmente establecido para los vehículos propulsados por motores de combustión. Es importante que además de introducir vehículos eléctricos, se impulsen mejoras para que la utilización de estos sea factible. Desde un mayor número de puntos de recarga hasta estructuras logísticas acordes con sus necesidades.

Así pues, el futuro está muy cerca. Es cuestión de tiempo que se normalice la opción de utilizar flotas de furgonetas eléctricas en las empresas, tanto para reducir emisiones, como para obtener beneficios económicos y ser competitivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] *¿A cuánto asciende la devolución? - Agencia Tributaria.* (n.d.). Retrieved June 4, 2020, from [https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/La\\_Agencia\\_Tributaria/Aduanas\\_e\\_Impuestos\\_Especiales/\\_Presentacion/Impuestos\\_especiales/\\_IMPUESTOS/Impuesto\\_sobre\\_hidrocarburos/\\_MODELOS\\_E\\_INFORMACION/Informacion\\_Gasoleo\\_profesional/\\_INFORMACION/Informacion\\_general\\_y\\_ayuda/Ambito\\_y\\_extension/\\_A\\_cuanto\\_asciende\\_la\\_devolucion\\_.shtml](https://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/La_Agencia_Tributaria/Aduanas_e_Impuestos_Especiales/_Presentacion/Impuestos_especiales/_IMPUESTOS/Impuesto_sobre_hidrocarburos/_MODELOS_E_INFORMACION/Informacion_Gasoleo_profesional/_INFORMACION/Informacion_general_y_ayuda/Ambito_y_extension/_A_cuanto_asciende_la_devolucion_.shtml)
- [2] *España: población que compró alimentos online según tamaño de la población en 2019 | Statista.* (n.d.). Retrieved June 9, 2020, from <https://es.statista.com/estadisticas/1090371/porcentaje-de-personas-que-compra-alimentos-online-segun-tamano-de-la-poblacion-en-espana/>
- [3] *Autonomía y recarga MASTER Z.E.: baterías - Renault.* (n.d.). Retrieved June 15, 2020, from <https://www.renault.es/electricos/master-ze/bateria.html>
- [4] Bickerstaffe, S. (2010). Renault master. *Automotive Engineer (London)*, 35(3), 11–12.
- [5] *Datos y ficha técnica Mercedes-Benz Vito Furgón 126 Larga FAP 258 CV - Arpem.com* -. (n.d.). Retrieved June 15, 2020, from <https://www.arpem.com/furgonetas/mercedes-benz/vito/modelos-08/mercedes-benz-vito-furgon-126-larga-258.html>
- [6] Dirección General de Transporte Terrestre, M. de F. (2017). *Observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera*. 3(2), 54–67. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- [7] Edwards, J. B., McKinnon, A. C., & Cullinane, S. L. (2010). Comparative analysis of the carbon footprints of conventional and online retailing: A “last mile” perspective. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(1–2), 103–123. <https://doi.org/10.1108/09600031011018055>
- [8] Edwards, J., McKinnon, A., & Cullinane, S. (2011). Comparative carbon auditing of conventional and online retail supply chains: A review of methodological issues. *Supply Chain Management*, 16(1), 57–63. <https://doi.org/10.1108/13598541111103502>
- [9] Ehrler, V. C., Schöder, D., & Seidel, S. (2019). Challenges and perspectives for the use of electric vehicles for last mile logistics of grocery e-commerce – Findings from case studies in Germany. *Research in Transportation Economics*, December 2018. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.100757>
- [10] *El cambio climático, en datos y gráficos.* (2018). <https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447>
- [11] Emilio J. Fernández Rey. (2020, April 25). *¿Cuánto contamina un coche eléctrico?* <https://pasatealoelectrico.es/2020/04/25/cuanto-contamina-un-coche-electrico/>
- [12] Feng, W., & Figliozzi, M. A. (2012). Conventional vs Electric Commercial Vehicle Fleets: A Case Study of Economic and Technological Factors Affecting the Competitiveness of Electric Commercial Vehicles in the USA. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 39, 702–711. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.141>
- [13] Fernández Munguía, S. (2020, February 10). *Cuánto cuesta cargar un coche eléctrico en España: de la recarga en casa a la recarga pública.* <https://www.xataka.com/vehiculos/cuanto-cuesta-cargar-coche-electrico-espana->



recarga-casa-a-recarga-publica

- [14] Fernández, S. (2019, November 3). *Coches eléctricos: la infraestructura de recarga rápida comienza a despegar en España - Sector - Híbridos y Eléctricos | Coches eléctricos, híbridos enchufables*. <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/coches-electricos-infraestructura-recarga-rapida-espana/20191102224416031207.html>
- [15] Fuentes, V. (2020, June 17). *Amazon España suma 100 furgonetas eléctricas a su inmensa red de distribución y se adelanta a las de Rivian*. <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/amazon-espana-suma-100-furgonetas-electricas-a-su-inmensa-red-distribucion-se-adelanta-a-rivian>
- [16] García Arca, J., Trinidad González-Portela, A., Carlos, J., Prado, P., & Mejías Sacaluga, A. (2011). *Sostenibilidad y mejora logística. Un caso práctico*. <http://www.ikea.com>
- [17] Gómez Gómez, A., Puente García, F., & Mitre Aranda, M. (2004). Importancia del comercio electrónico y su incidencia en la logística de aprovisionamientos. *Ingeniería Industrial*, 25(2), 4.
- [18] González-Feliu, J., Durand, B., & Andriankaja, D. (2012). *Challenges in Last-Mile e-Grocery Urban Distribution: Have New B2C Trends a Positive Impact on the Environment?* 251–266. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23562-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23562-7_14)
- [19] González, M., González Sánchez, G., & Hazaña, A. (2012). *Análisis del Impacto Ambiental (CO 2 ) de la implantación de un metro ligero Environmental Impact Analysis (CO 2 ) of the implementation of a light rail*.
- [20] *Gráfico: ¿Cuánto hay que reducir las emisiones de dióxido de carbono para frenar el cambio climático? | Statista*. (2018). <https://es.statista.com/grafico/15726/emisiones-de-co2-mundiales-y-la-reduccion-propuesta-por-la-onu/>
- [21] *Histórico de Precios*. (n.d.). Retrieved May 28, 2020, from <https://sedeaplicaciones.minetur.gob.es/shpcarburantes/>
- [22] Inés, L., & Valera, R. (2011). *Los vehículos eléctricos*.
- [23] *Informe Sectorial CESCE 2019 Distribución Alimentaria by CESCE - issue*. (n.d.). Retrieved June 9, 2020, from [https://issuu.com/cesce.es/docs/informe\\_sectorial\\_cesce\\_2019\\_distri](https://issuu.com/cesce.es/docs/informe_sectorial_cesce_2019_distri)
- [24] *Interactive map shows air quality across Europe in real time | London Evening Standard*. (2017). <https://www.standard.co.uk/news/world/interactive-map-shows-air-quality-across-europe-in-real-time-a3693181.html>
- [25] Jahn, C., Kersten, W., & Ringle, C. M. (2017). *A Service of zbw Digitalization in Maritime and Sustainable Logistics: City Logistics, Port Logistics and Sustainable Supply Chain Management in the Digital Age) : Digitalization in Maritime and Sustainable Logistics: City Logistics, Port Logistics and Su*. <https://doi.org/10.15480/882.1446>
- [26] *La demanda de energía eléctrica de España desciende un 4,6% en marzo | Red Eléctrica de España*. (2020). <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2020/04/la-demanda-de-energia-electrica-de-espana-desciende-un-cuatro-coma-seis-en-marzo>
- [27] *Listado de puntos de recarga en España*. (2020). <https://www.electromaps.com/puntos-de-recarga/espana>
- [28] Lüer, A., Benavente, M., Bustos, J., & Venegas, B. (2009). El problema de rutas de vehículos: Extensiones y métodos de resolución estado del arte. *CEUR Workshop*

*Proceedings*, 558(September 2014).

- [29] *Lumios | ESIOS electricidad · datos · transparencia*. (n.d.). Retrieved May 28, 2020, from [https://www.esios.ree.es/es/lumios?rate=rate1&start\\_date=03-02-2020T22:28&end\\_date=04-02-2020T22:28](https://www.esios.ree.es/es/lumios?rate=rate1&start_date=03-02-2020T22:28&end_date=04-02-2020T22:28)
- [30] Maeso González, & , González Sánchez G, P. C. P. (2012). [7] *Combustibles y Sistemas de Propulsión en el*.
- [31] *MASTER Z.E. - El furgón 100% eléctrico - Renault*. (n.d.). Retrieved June 15, 2020, from <https://www.renault.es/electricos/master-ze.html>
- [32] Mejías, A., García, J., Prado, J. C., Fernández, A. J., & Comesaña, J. A. (2011). *Modelo para la aplicación de la Responsabilidad Social Corporativa en la Gestión de la Cadena de Suministro*.
- [33] Mi, L. M., Jueves, R., & Domingo, B. (2019). *Dossier Indicadores Comercio Electrónico ONTSI*. 2–6.
- [34] Monroy, C. R. (2010). *La alternativa factible a los combustibles fósiles en España: El hidrógeno*.
- [35] Noya, C. (2020, May 20). *Europa prepara un enorme plan de recuperación. Ayudas a los coches eléctricos y exención de IVA | forococheselectricos*. <https://forococheselectricos.com/2020/05/europa-prepara-un-enorme-plan-de-recuperacion-ayudas-a-los-coches-electricos-y-exencion-de-iva.html>
- [36] Olivera, A. (2004). *Heurísticas para el Problema de Ruteo*. <https://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>
- [37] *Online share of retail trade in countries 2018 | Statista*. (2018). <https://www.statista.com/statistics/281241/online-share-of-retail-trade-in-european-countries/>
- [38] *Petróleo: consumo España 1990-2018 | Statista*. (2018). <https://es.statista.com/estadisticas/501056/consumo-de-petroleo-en-espana/>
- [39] Pierre Dornier. (2020, April 20). *How clean are electric cars? | Transport & Environment*. <https://www.transportenvironment.org/news/how-clean-are-electric-cars>
- [40] Pinto C, & Am, C. (2012). *The reduction of CO2 emission into the supply network design: A review of current trends in mathematical models*.
- [41] *Precio de la gasolina y diesel HOY en las gasolineras de España*. (2020). <https://www.dieselogasolina.com/>
- [42] *Precio voluntario para el pequeño consumidor (PVPC) | Red Eléctrica de España*. (n.d.). Retrieved May 28, 2020, from <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/precio-voluntario-pequeno-consumidor-pvpc>
- [43] Renault. (2018). *Renault KANGOO Furgón & Nuevo KANGOO Z.E.*
- [44] Renault. (2017). Cámara de Comercio de España Comisión de Energía. *Tesla S*.
- [45] Rodríguez Monroy, C. (2010). *ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND SUSTAINABILITY 4 th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*.
- [46] Rossati, A. (2017). Global warming and its health impact. *International Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 8(1), 7–20.

<https://doi.org/10.15171/ijoem.2017.963>

- [47] Silva, J. E. da, Santos, F. R., Kaltmaier, G., & Urbanetz Junior, J. (2018). Implementation of a Photovoltaic Panel to Supply Electric Cars Energy Demands. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 61(spe). <https://doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000530>
- [48] Statista. (2020). <https://es.statista.com/estadisticas/587075/alimentacion-facturacion-en-comercio-electronico-en-espana/>
- [49] Tesla. (2018). *Tesla Fourth Quarter & Full Year 2018 Update*.
- [50] Value share of online grocery shopping market in EU 2017/2018 | Statista. (2017). <https://www.statista.com/statistics/614717/online-grocery-shopping-in-the-european-union-eu/>
- [51] Van Online Configurator | Mercedes-Benz. (n.d.). Retrieved June 15, 2020, from [https://voc.i.daimler.com/voc/es\\_es?owda=vito\\_vans](https://voc.i.daimler.com/voc/es_es?owda=vito_vans)
- [52] Vehículos comerciales eléctricos 2020 | Guía de compra | Comparativa | Opiniones. (2020). <https://noticias.coches.com/informes/guia-de-compra-vehiculos-comerciales-electricos/242885>
- [53] Vito Furgón | Furgonetas y Tourer Mercedes-Benz. (n.d.). Retrieved June 15, 2020, from <https://www.mercedes-benz.es/vans/es/vito/panel-van>
- [54] Wang, X., Zhan, L., Ruan, J., & Zhang, J. (2014). How to choose “last mile” delivery modes for E-fulfillment. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014(1). <https://doi.org/10.1155/2014/417129>
- [55] Weber, C. L., Hendrickson, C. T., Matthews, H. S., Nagengast, A., Nealer, R., & Jaramillo, P. (2009). Life cycle comparison of traditional retail and e-commerce logistics for electronic products: A case study of buy.com. *2009 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology, ISSST '09 in Cooperation with 2009 IEEE International Symposium on Technology and Society, ISTAS, June*. <https://doi.org/10.1109/ISSST.2009.5156681>

## ANEXO

- **Código Visual Basics para calcular las rutas de las furgonetas diésel y gasolina:**

```

Private Sub Botón1()
Dim n As Integer
n = 28
Dim capacidad As Integer
capacidad = 873 '(955 para gasolina)

Dim distancia() As Single
ReDim distancia(n + 1, n + 1)

For i = 1 To n + 1
    For j = 1 To n + 1
        distancia(i, j) = Worksheets("Hoja1").Cells(2 + i, 15 + j).Value
    Next j
Next i

Dim ahorro() As Single
ReDim ahorro(n + 1, n + 1)

For i = 1 To n + 1
    For j = 1 To n + 1
        Worksheets("Hoja1").Cells(34 + i, 15 + j).Value = distancia(1, i) + distancia(j, 1) - distancia(i,
j)
        ahorro(i, j) = distancia(1, i) + distancia(j, 1) - distancia(i, j) 'creamos la matriz ahorro
    Next j
Next i

Dim volumen() As Single
ReDim volumen(n)
For i = 1 To n
    volumen(i) = Worksheets("Hoja1").Cells(2 + i, 5).Value 'metemos en el vector lo leído del
volumen
Next i

Dim numvisitadas As Integer
Dim furgo As Integer
furgo = 1
Dim rutas() As Integer
ReDim rutas(n + 1, n + 1)
Dim volumenruta() As Single
ReDim volumenruta(n)
Dim posicion() As Integer
ReDim posicion(n + 1)
Dim visitada() As Integer
ReDim visitada(n)
    
```

Dim distanciaruta() As Single  
 ReDim distanciaruta(n)

Dim z As Single  
 Dim a As Single  
 Dim f As Integer  
 Dim c As Integer

Do While numvisitadas < n

z = 0

If rutas(furgo, 1) = 0 Then

volumenruta(furgo) = 0

posicion(furgo) = 0

For i = 1 To n + 1

For j = 1 To n + 1

a = ahorro(i, j)

If a > z And i <> j And volumen(i - 1) + volumen(j - 1) <= capacidad And visitada(i - 1) = 0 And visitada(j - 1) = 0 Then

z = a 'buscamos máximo

f = i - 1

c = j - 1

End If

Next j

Next i

volumenruta(furgo) = volumenruta(furgo) + volumen(f) + volumen(c)

rutas(furgo, 1) = f

rutas(furgo, 2) = c

visitada(f) = 1

visitada(c) = 1

numvisitadas = numvisitadas + 2

posicion(furgo) = posicion(furgo) + 2

distanciaruta(furgo) = distancia(1, rutas(furgo, 1)) + distancia(rutas(furgo, 1), rutas(furgo, 2))

End If

z = 0

For i = 1 To n + 1

If ahorro(c + 1, i) > z And c + 1 <> i And volumenruta(furgo) + volumen(i - 1) <= capacidad And visitada(i - 1) = 0 Then

z = ahorro(c + 1, i)

f = i - 1

End If

Next i

If z = 0 Then

furgo = furgo + 1

Else

posicion(furgo) = posicion(furgo) + 1 'numero de domicilios visitados por cada  
 furgoneta

rutas(furgo, posicion(furgo)) = f 'ruta que sigue la furgoneta

```

visitada(f) = 1
numvisitadas = numvisitadas + 1
volumenruta(furgo) = volumenruta(furgo) + volumen(f)    'volumen total furgoneta
distanciaruta(furgo) = distanciaruta(furgo) + distancia(c + 1, f)    'distancia de cada furgo
If f = 1 Then
    c = f
Else
    c = f - 1
End If
End If
Loop

For i = 1 To furgo
    For j = 1 To n
        Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 4 + j).Value = rutas(i, j)
    Next j
    Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 1).Value = i
    Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 2).Value = posicion(i)
    Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 3).Value = distanciaruta(i)
    Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 4).Value = volumenruta(i)
Next i

End Sub

```

- **Código Visual Basic para calcular las rutas de la furgoneta eléctrica:**

```

Private Sub Botón1()

Dim n As Integer
n = 28
Dim capacidad As Integer
capacidad = 1130

Dim distancia() As Single
ReDim distancia(n + 1, n + 1)

For i = 1 To n + 1
    For j = 1 To n + 1
        distancia(i, j) = Worksheets("Hoja1").Cells(2 + i, 15 + j).Value 'leemos matriz distancias
    Next j
Next i

Dim ahorro() As Single
ReDim ahorro(n + 1, n + 1)

```

```

For i = 1 To n + 1
  For j = 1 To n + 1
    Worksheets("Hoja1").Cells(34 + i, 15 + j).Value = distancia(1, i) + distancia(j, 1) - distancia(i, j)
    ahorro(i, j) = distancia(1, i) + distancia(j, 1) - distancia(i, j) 'creamos la matriz ahorro
  Next j
Next i

```

```

Dim volumen() As Single
ReDim volumen(n)
For i = 1 To n
  volumen(i) = Worksheets("Hoja1").Cells(2 + i, 5).Value      'metemos en el vector lo leído
del volumen
Next i

```

```

Dim numvisitadas As Integer
Dim furgos As Integer
furgos = 1
Dim rutas() As Integer
ReDim rutas(n + 1, n + 1)
Dim volumenruta() As Single
ReDim volumenruta(n)
Dim posicion() As Integer
ReDim posicion(n + 1)
Dim visitada() As Integer
ReDim visitada(n)
Dim distanciaruta() As Single
ReDim distanciaruta(n)

```

```

Dim z As Single
Dim a As Single
Dim f As Integer
Dim c As Integer

```

```

Do While numvisitadas < n
  z = 0
  If rutas(furgo, 1) = 0 Then
    volumenruta(furgo) = 0
    posicion(furgo) = 0
    distanciaruta(furgo) = 0
    For i = 1 To n + 1
      For j = 1 To n + 1
        a = ahorro(i, j)
        If a > z And i <> j And volumen(i - 1) + volumen(j - 1) <= capacidad And visitada(i - 1)
= 0 And visitada(j - 1) = 0 And (distanciaruta(furgo) + distancia(i, j)) < 108 Then
          z = a 'buscamos el máximo
          f = i - 1
          c = j - 1
        End If
      Next j
    Next i
  End If

```

```

    Next j
  Next i
  volumenruta(furgo) = volumenruta(furgo) + volumen(f) + volumen(c)
  rutas(furgo, 1) = f
  rutas(furgo, 2) = c
  visitada(f) = 1
  visitada(c) = 1
  numvisitadas = numvisitadas + 2
  posicion(furgo) = posicion(furgo) + 2
  distanciaruta(furgo) = distancia(1, rutas(furgo, 1)) + distancia(rutas(furgo, 1), rutas(furgo, 2))
End If

z = 0
For i = 1 To n + 1
  If ahorro(c + 1, i) > z And c + 1 <> i And volumenruta(furgo) + volumen(i - 1) <= capacidad
  And visitada(i - 1) = 0 And distanciaruta(furgo) + distancia(c + 1, i) < 108 Then
    z = ahorro(c + 1, i)
    f = i - 1
  End If
  Next i
  If z = 0 Then
    furgo = furgo + 1
  Else
    posicion(furgo) = posicion(furgo) + 1      'numero de domicilios visitados por cada
    furgoneta
    rutas(furgo, posicion(furgo)) = f          'ruta que sigue la furgoneta
    visitada(f) = 1
    numvisitadas = numvisitadas + 1
    volumenruta(furgo) = volumenruta(furgo) + volumen(f)  'volumen total furgoneta
    distanciaruta(furgo) = distanciaruta(furgo) + distancia(c + 1, f) 'distancia de cada furgo
    If f = 1 Then
      c = f
    Else
      c = f - 1
    End If
  End If
End If

Loop

For i = 1 To furgo
  For j = 1 To n
    Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 4 + j).Value = rutas(i, j)
  Next j
  Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 1).Value = i
  Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 2).Value = posicion(i)
  Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 3).Value = distanciaruta(i)
  Worksheets("Hoja2").Cells(13 + i, 4).Value = volumenruta(i)

```



Next i

End Sub