



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (GITI)

TRABAJO FIN DE GRADO (GITI)

ANÁLISIS DEL DESPLIEGUE DE PUNTOS DE
RECARGA INTERURBANOS PARA VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS

Autor: Pablo Mendoza Caballero

Director: Pablo Frías Marín

Madrid

Julio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. PABLO MENDOZA CABALLERO

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ANÁLISIS DEL DESPLIEGUE DE PUNTOS DE RECARGA INTERURBANOS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa

de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivó sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ...15... dejulio..... de ..2019..

ACEPTA

Fdo. Pablo Mendoza

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

**ANÁLISIS DEL DESPLIEGUE DE PUNTOS DE RECARGA
INTERURBANOS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2018 - 2019 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.

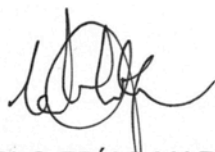


Fdo.: PABLO MENDOZA CABALLERO

Fecha: 15/JULIO/2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: PABLO FRÍAS MARÍN

Fecha: 15/JULIO/2019



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (GITI)

TRABAJO FIN DE GRADO (GITI)

ANÁLISIS DEL DESPLIEGUE DE PUNTOS DE
RECARGA INTERURBANOS PARA VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS

Autor: Pablo Mendoza Caballero

Director: Pablo Frías Marín

Madrid

Julio de 2019

ANÁLISIS DEL DESPLIEGUE DE PUNTOS DE RECARGA INTERURBANOS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor: Mendoza Caballero, Pablo.

Director: Frías Marín, Pablo

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción:

En la sociedad actual hay un creciente proceso de concienciación con respecto al cambio climático. Este cambio de mentalidad está llevando a que tanto las grandes empresas como la sociedad en general adopten nuevas medidas que abogan por una transición energética en la que se impulse la sostenibilidad tanto en la obtención de energía como en su uso.

Cada vez son más las grandes compañías, tanto eléctricas como petroleras y automovilísticas, que adoptan planes de futuro para tener un papel fundamental en el desarrollo de las energías renovables.

Es en este ámbito en el que la movilidad eléctrica tendrá un papel protagonista. Los vehículos eléctricos se han desmarcado frente a otras tecnologías de menor desarrollo, como los coches de pila de combustible, como la tecnología más prometedora, y la única con potencial hoy en día para suplantar a los coches de combustión interna tradicionales.

Sin embargo, esta evolución hacia la electrificación del transporte se ve en ocasiones frenada por la falta de una infraestructura de recarga suficiente para generar seguridad en el consumidor.

A pesar de los avances llevados a cabo por grandes compañías españolas para incrementar el número de electrolíneas en España, su número sigue siendo reducido, especialmente en comparación con otros países de la Unión Europea que presentan mayores niveles de desarrollo en la infraestructura de recarga como Países Bajos o Alemania.

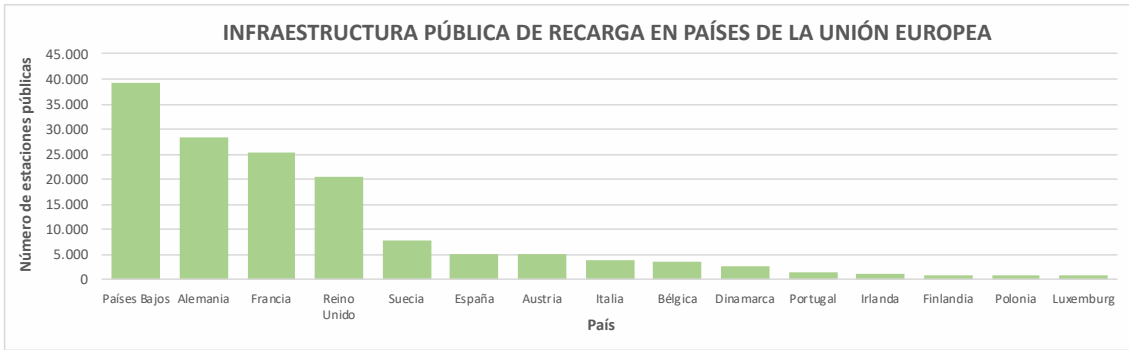


Figura 1. Infraestructura pública de recarga en países de la UE (OVEM19)

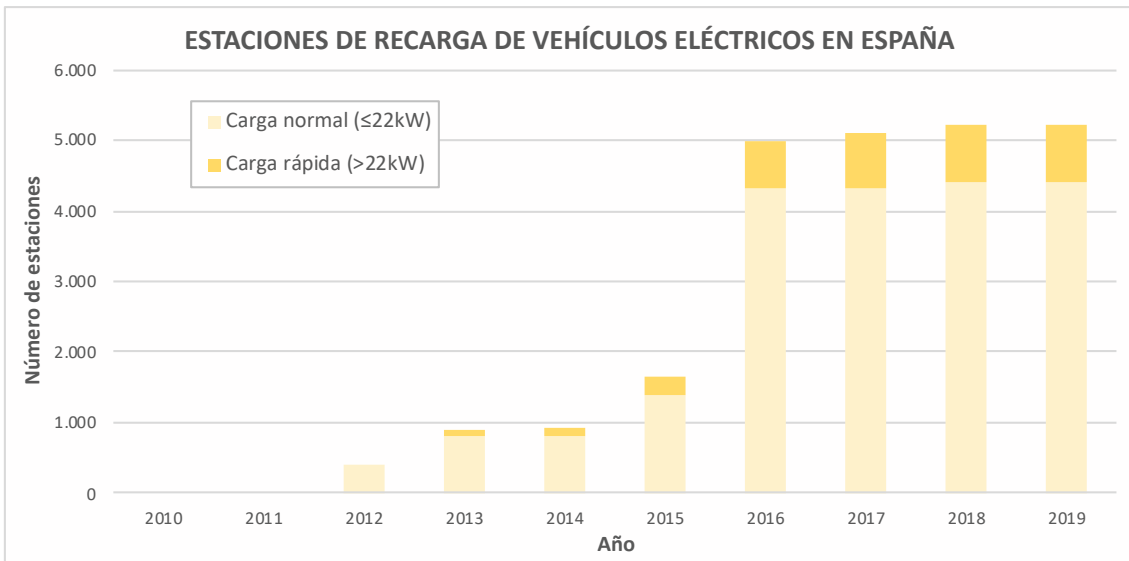


Figura 2. Evolución de la infraestructura de recarga en España (OVEM19)

Metodología:

El objetivo fundamental de este proyecto es el estudio del desarrollo de una infraestructura de recarga en zonas interurbanas, en las que la implantación de electrolineras es menos frecuente en la actualidad.

Para llevar a cabo esta tarea, se desarrolla una herramienta capaz de estimar las necesidades de recarga según la evolución del parque de vehículos eléctricos, además de la demanda energética en los distintos tramos de la carretera.

En el estudio se presentan tres escenarios distintos, cada uno de ellos asociado a un nivel previsto de desarrollo (CAMB18). El escenario PA (Política Actual) es el más pesimista de los tres. En él, el nivel de desarrollo en los próximos años es bajo, apenas alcanzándose los objetivos fijados en el Tratado de París. El siguiente es el escenario TEC (Tecnológico), en el que se ha llevado a cabo un desarrollo suficiente del automóvil

eléctrico, así como de la infraestructura de recarga para alcanzar los objetivos fijados para el año 2050. Este es el escenario más probable. Por último, se encuentra el escenario TEC Rápido (Tecnológico Rápido), en el cual se produce un desarrollo acelerado de las tecnologías referentes a la movilidad eléctrica, permitiendo alcanzar los objetivos en el año 2030.

Los cálculos se llevarán a cabo empleando como variables de entrada el parque automovilístico del año estudiado, el índice medio diario (IMD) de vehículos en cada tramo de la carretera estudiada y las distribuciones de autonomía y de capacidad de las baterías de la flota.

En los años en los que estos datos no puedan ser recopilados, se estimarán a partir de los recogidos para los últimos años con registros fiables.

Una vez obtenidas las distribuciones de estacionamientos y de demanda energética, se lleva a cabo un cálculo de optimización para elegir en qué tramos es más conveniente instalar las electrolíneas. En una primera aproximación se escogerán los tramos, y posteriormente se recomienda el número de locales que deben situarse para cubrir la demanda.

Por último, se lleva a cabo un estudio de los distintos modelos de negocio dispuestos a invertir en la generación de infraestructura de carga. Estos modelos son el de inversor independiente, el de compañías eléctricas, el de establecimientos con actividades comerciales ajenas a la venta de energía y por último el de aquellas empresas petroleras que han alcanzado acuerdos con otras eléctricas. Los resultados obtenidos serán analizados detalladamente, estudiando la viabilidad económica de cada uno de ellos.

Resultados:

En este trabajo se toma como caso estudio la Autovía del Este (A3). Los resultados obtenidos son representativos del resto de autovías y son los que se emplean en los modelos económicos para el análisis de viabilidad.

A continuación, se incluyen los resultados de la distribución de estacionamientos y de demanda energética calculados.

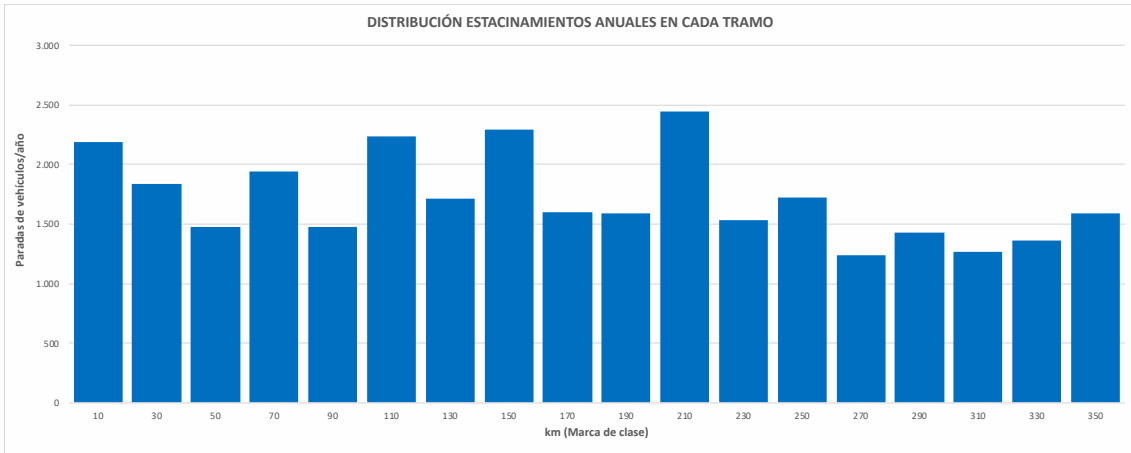


Figura 3. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario TEC

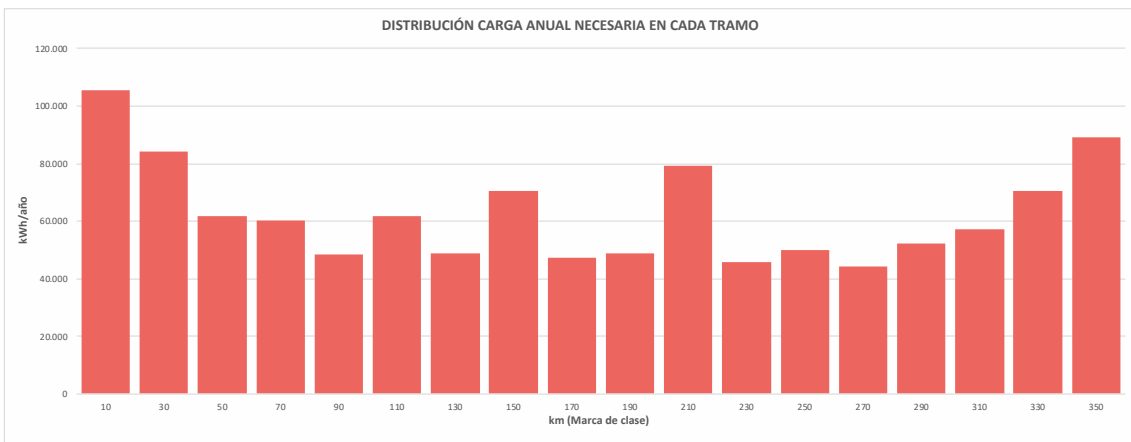


Figura 4. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario TEC

Además de estos resultados, también es de especial importancia el estudio de la evolución de la demanda energética en el periodo de tiempo estudiado. Estos son los resultados que se emplean posteriormente para los cálculos económicos, y en ellos se aprecia de manera sencilla las tendencias en el desarrollo. Se incluye a continuación una gráfica en la que se representa esta evolución de la demanda, en este caso para el escenario TEC.

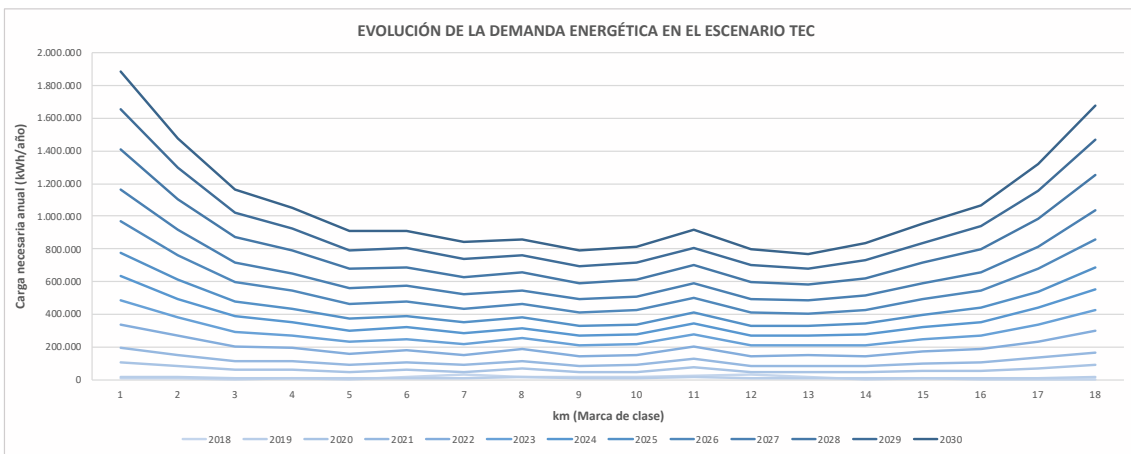


Figura 5. Evolución anual de la demanda energética en el escenario TEC

Conclusiones:

Hoy en día la movilidad eléctrica se presenta como la alternativa más consistente a la hora de sustituir los coches de combustión convencionales, favoreciendo de esta forma la transición energética hacia un desarrollo sostenible.

Con la intrusión de grandes multinacionales en el sector y el consiguiente aumento de la competencia entre ellas, se produce un incremento de la inversión en infraestructura de recarga, que irá acompañado de un aumento de las ventas de los coches eléctricos. Si esta participación es favorecida por medidas gubernamentales, es posible que se alcancen los objetivos fijados por la Unión Europea en pocos años, consiguiéndose la independencia de España de los combustibles fósiles.

La herramienta presentada ofrece gran versatilidad y es capaz de adoptar modificaciones referentes tanto al tipo de carretera, como a la aparición de nuevos datos que modifiquen o sustituyan los empleados. Observando los resultados obtenidos se comprueba el correcto funcionamiento de la herramienta.

A pesar de las incertidumbres en este ámbito, los resultados obtenidos son coherentes con las hipótesis de partida. Aun así, el programa presenta gran sensibilidad ante la aparición de nuevas tecnologías que puedan cambiar la dirección del progreso.

Estudiando los resultados se observa que los tramos con mayor número de estacionamientos no coinciden con los de mayor demanda de energía. Especialmente en los primeros años, las discordancias entre ambos resultados son mayores.

Esto tiene especial relevancia a la hora de realizar los estudios económicos. En su desarrollo se han empleado los resultados de distribución de la demanda energética y no los de número de estacionamientos, pues en estos cálculos interesa saber el ingreso obtenido por el consumo eléctrico y no el número de estacionamientos que se efectúan en la electrolinera.

Se contempla en el estudio un cambio significativo en la evolución de la distribución de la demanda energética. Dividiendo el recorrido de la autovía en tres tramos iguales y empleando los resultados para el escenario TEC, se hace evidente el cambio de tendencia, pudiéndose diferenciar a su vez dos periodos de tiempo distintos.

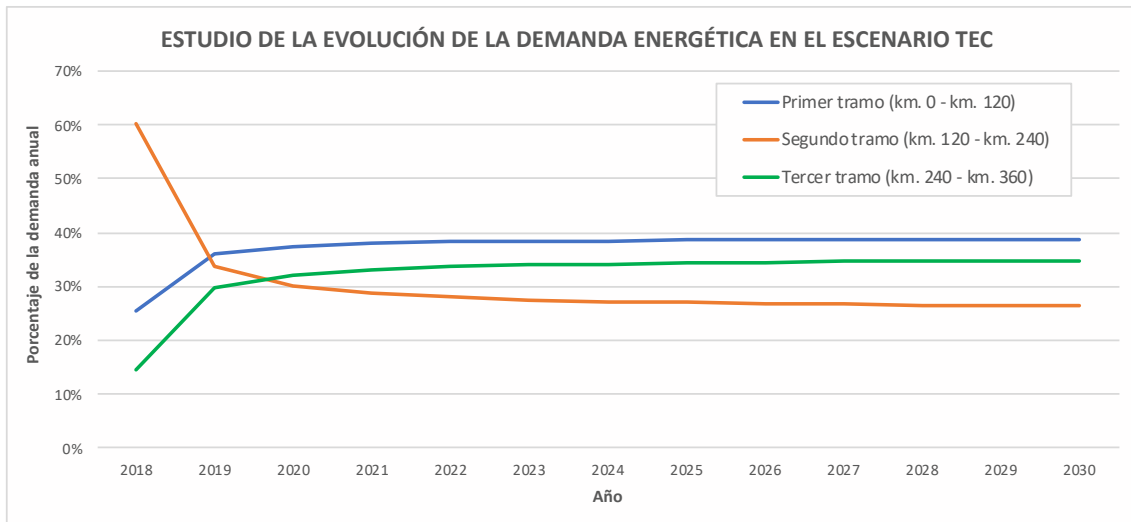


Figura 6. Análisis de la evolución de la demanda por tramos

En el primer periodo, entre los años 2016 y 2018, el grueso de la demanda se aglutina en el tramo central de la autopista, alcanzando el 60% de la demanda de ese año, en contraste con el 25% agrupada en el primer tramo y el 14% restante en el tercero. Esto se debe principalmente al bajo desarrollo en la autonomía de las baterías, lo que implica que los vehículos deben realizar paradas en su trayecto antes de alcanzar destino y que la mayoría de estas tendrán lugar en los tramos centrales de la autopista.

En el segundo periodo, entre los años 2020 y 2030, la necesidad de carga se concentra en los extremos de la autopista, en este caso en Madrid y Valencia. Se alcanzan porcentajes del 39% y del 35% de la demanda respectivamente. En contraposición, el tramo central recoge el 26% de la demanda según el último año de estudio. Esto se debe a que el IMD de vehículos es mayor en esos puntos, en segundo lugar, a que al ser la autonomía de los coches mayor son necesarias pocas o ninguna parada.

A pesar de la polarización que tiene lugar en los extremos de la autopista estudiada, no es sencilla la elección del tramo en el que situar un nuevo punto de recarga. Hay muchas incertidumbres de cara a futuro, especialmente relacionadas con la competitividad entre las distintas empresas a la hora de posicionarse en los tramos con mayor demanda.

Esta circunstancia puede provocar que, en aquellas zonas a priori destacables por su alta demanda, la implantación de multitud de puntos de recarga desemboque en una dispersión de los clientes, reduciendo el número de usuarios por local y por tanto los beneficios.

Por todo esto, es importante un estudio detallado para la implantación de electrolineras en los tramos centrales de las autovías, pues a pesar de ser la demanda inferior, los beneficios pueden ser superiores por la falta de competitividad.

En la actualidad, se distinguen varios modelos empresariales dispuestos a invertir en la generación de infraestructura de recarga.

El modelo de inversor independiente se descarta actualmente como opción viable, al ser el coste de la compra del terreno y habilitación de éste muy superior a los beneficios que se pueden alcanzar con la venta de energía. A diferencia de lo que ocurre en medios urbanos, los postes de recarga no se pueden situar en las autovías de manera aislada, sino que deben contar con un mínimo de infraestructura, lo que supone un gasto difícilmente compensable sin el respaldo de una gran compañía.

El modelo presentado por empresas eléctricas no parece a priori rentable. De nuevo el coste económico de la adquisición de un terreno y la habilitación de este no puede ser amortizado con la venta de energía, ni siquiera teniendo en cuenta el precio reducido del que se pueda beneficiar en la compra de esta. Este modelo, planteado desde la generación de una electrolinera partiendo de cero, solo se entiende en el caso de que se busque una mejora de la imagen de la compañía, consiguiendo beneficios en la captación de clientes, que ven con buenos ojos la adopción de medidas sostenibles y de lucha contra el cambio climático. De otro modo, los beneficios no serán suficientes para cubrir la inversión inicial.

El tercer modelo analizado corresponde a establecimientos hoteleros y de restauración ya existentes, que pueden obtener grandes beneficios con la instalación de puntos de recarga, sobre todo si llegan a acuerdos con compañías eléctricas o fabricantes de coches eléctricos que minimicen los costes de implantación o de la compra de energía. Las ventajas competitivas de este modelo vienen determinadas por el bajo coste de habilitación de la zona de carga, y el beneficio producido por el aumento de clientes obligados a dedicar el tiempo de espera a un posible consumo en el establecimiento principal. Como desventaja se puede destacar que estos establecimientos no se suelen ubicar en las vías de servicio de las autovías, por lo que los usuarios tienen que desviarse de la ruta con el consiguiente trastorno y por otro lado obliga a realizar un mayor esfuerzo en publicitar el servicio ofrecido. Este modelo alcanza un beneficio en torno al 10% en el cuarto año del periodo analizado, y se incrementa hasta el 47% en el décimo y último.

Por último, las compañías petroleras que cuenten con acuerdos con otras eléctricas son las que producen mayor beneficio tanto a corto como a largo plazo, obteniendo rendimientos superiores a los de establecimientos de otros sectores con acuerdos similares. Este cuarto modelo parte de unos costes de implantación muy bajos, teniendo solo que realizar trabajos de adaptación de las instalaciones a los que suma los precios de compra de energía muy bajos. Al igual que el modelo anterior, si disponen de un local anexo de restauración contarán con los beneficios adicionales debidos al aumento de su actividad. Otras ventajas competitivas frente a los casos ya analizados son la ubicación en puntos estratégicos de las autovías, con accesos ya establecidos, no siendo necesario hacer un esfuerzo en publicitar su actividad. Además, cuentan con personal especializado, por lo que no tienen gastos de incorporación de personal adicional. En este modelo se alcanzan beneficios en torno al 16% en el cuarto año, es decir, ligeramente superiores a los del modelo anterior, ascendiendo posteriormente hasta el 52% en el último año.

Se concluye por tanto que los modelos más sostenibles son aquellos que cuentan con una actividad adicional a la venta de energía y que no necesitan adquirir un terreno para la instalación de los surtidores.

El rápido desarrollo de las tecnologías en el ámbito automovilístico puede suponer un inconveniente a la hora de invertir en la generación de infraestructura en medios interurbanos. De llevarse a cabo avances lo suficientemente grandes en la autonomía de los vehículos, estas electrolineras pueden dejar de ser rentables. Para entender esto hay que hacer una reflexión sobre el tipo de carga que se efectúa en los vehículos eléctricos.

Al contrario que en los coches de combustión, la recarga de los vehículos eléctricos se lleva a cabo preferiblemente en el domicilio privado y de noche, tratando de beneficiarse de las tarifas nocturnas, además del ahorro en tiempo que supone.

De ser este el comportamiento habitual a la hora de repostar, especialmente antes de iniciar un largo trayecto, los conductores no efectuarán paradas mientras que la autonomía lo permita. Esto, sumado a un probable desarrollo de las baterías que permita recorrer largas distancias, se puede traducir en un uso residual de las electrolineras situadas en vías interurbanas, quedando comprometida la rentabilidad de la inversión.

ANALYSIS OF THE DEPLOYMENT OF INTERURBAN RECHARGE POINTS FOR ELECTRIC

Author: Mendoza Caballero, Pablo.

Director: Frías Marín, Pablo

Collaborative entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

Introduction:

In today's society there is a growing process of awareness about climate change. This change of mentality is leading to both large companies and society in general to acquire new measures that advocate an energy transition in which sustainability is promoted both in the obtaining of the energy and in its use.

A high number of large companies, including electric, oil and automotive, are embracing future plans to play a fundamental role in the development of renewable energies.

It is in this area in which electric mobility will play a leading role. Electric vehicles have distanced themselves from other less developed technologies such as fuel cell cars, as becoming the most promising technology, and the only one with potential nowadays to supplant traditional internal combustion cars.

However, this evolution towards the electrification of transport is sometimes slowed down by the lack of a sufficient recharging infrastructure to generate consumer safety.

Despite the progress made by large Spanish companies to increase the number of electric stations in Spain, the number is still small, especially in comparison with other European Union countries that have higher levels of development in the charging infrastructure, as Netherlands or Germany.

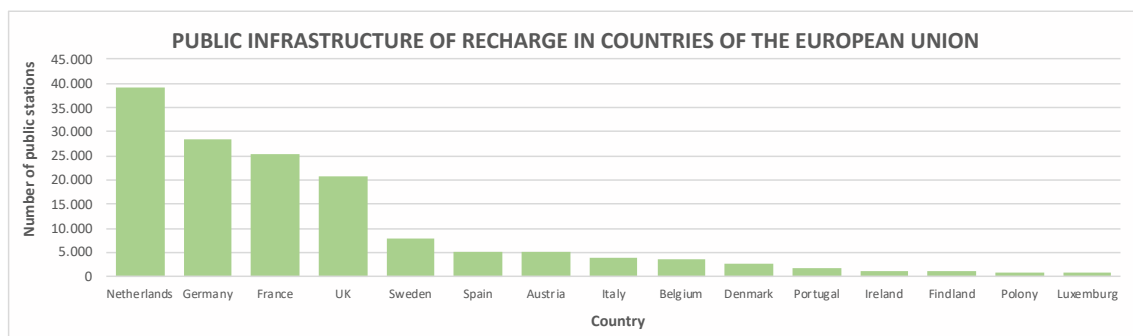


Figure 1. Public recharging infrastructure in EU countries (OVEM19)

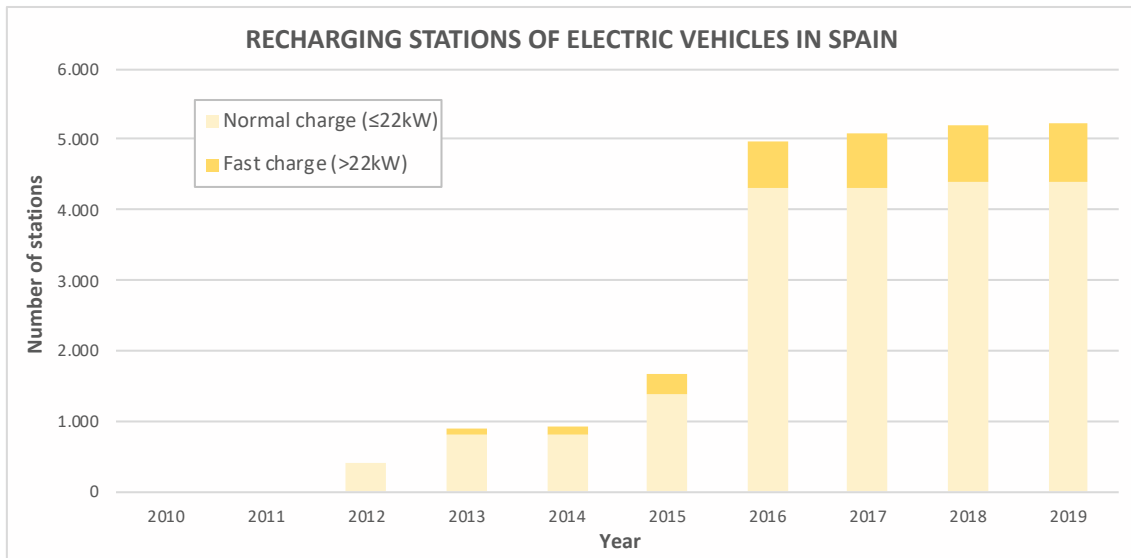


Figure 2. Evolution of the recharging infrastructure in Spain (OVEM19)

Aim of the project:

The main objective of this project is the study of the development of a recharging infrastructure in interurban areas, in which the implementation of charging stations is less frequent at present.

To carry out this task, a tool is developed, capable of estimating the recharging needs according to the evolution of the electric vehicle fleet, in addition to the energy demand in the different sections of the road.

In the study, three different scenarios are presented, each of them associated with an expected level of development (CAMB18). The CP scenario (Current Policy) is the most pessimistic of the three. In this scenario, the level of development in the coming years is low, barely reaching the objectives set in the Paris Agreement. The following is the TEC (Technological) scenario, in which there has been a sufficient development of the electric car, as well as the recharging infrastructure to reach the targets set for the year 2050. This is the most likely scenario. Finally, there is the TEC Rapid (Rapid Technological) scenario, in which there is an accelerated development of the technologies related to electric mobility, allowing to reach the objectives in the year 2030.

The calculations are carried out using as input variables the vehicle fleet of the year studied, the average daily rate (ADR) of vehicles in each section of the highway studied and the autonomy and capacity distributions of the fleet batteries.

In the years in which these data cannot be collected, they are estimated from those collected for the last years with reliable records.

Once the distributions of parking lots and energy demand have been obtained, an optimization calculation is carried out to choose in which sections it is more convenient to install the electric stations. In a first approximation, the sections will be chosen, and subsequently the number of premises that must be located to cover the demand is recommended.

Finally, a study of the different business models willing to invest in the generation of charging infrastructure is carried out. These models are that of an independent investor, that of electric companies, that of establishments with commercial activities unrelated to the sale of energy and, finally, that of those oil companies that have reached agreements with other electric enterprises. The results obtained are analyzed in detail, studying the economic viability of each of them.

Results:

In this work, the Spanish East Highway (A3) is taken as case study. The results obtained are representative of the rest of the highways and are those that are used in the economic models for the viability analysis.

The results of the distribution of parking lots and energy demand calculated are included below.

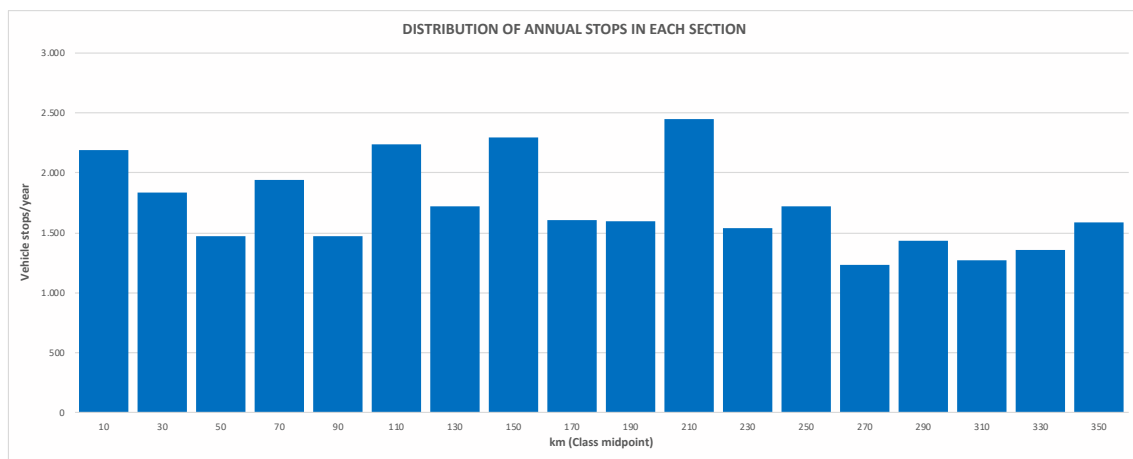


Figure 3. Annual distribution of stops per section in the TEC scenario

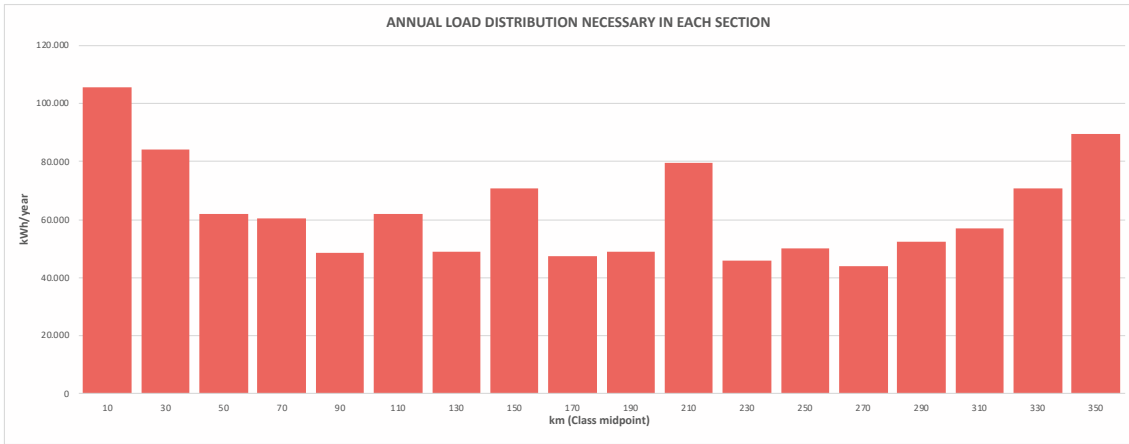


Figure 4. Annual distribution of energy demand by section in the TEC scenario

In addition to these results, it is also of special importance to study the evolution of energy demand in the period of time studied. These are the results that are used later for the economic calculations, and in them the tendencies in the development are easily appraised.

A figure is included below in which this evolution of demand is represented, in this case for the TEC scenario.

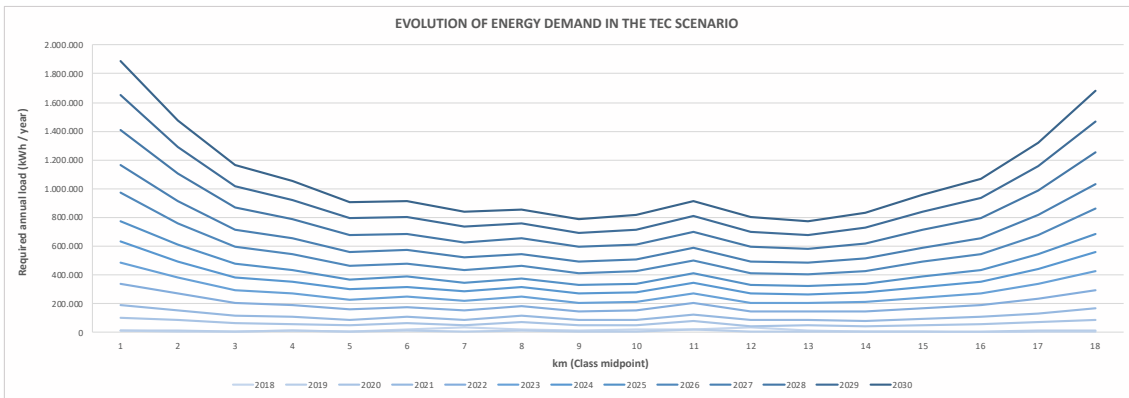


Figure 5. Annual evolution of energy demand in the TEC scenario

Conclusions:

Nowadays, electric mobility is presented as the most consistent alternative when replacing conventional combustion cars, thus favoring the energy transition towards a sustainable development.

With the intrusion of large multinationals in the sector and the consequent increase in competition between them, there is an increase in investment in charging infrastructure, which will be accompanied by an increase in sales of electric cars. If this participation is

avored by governmental measures, it is possible that the objectives set by the European Union will be achieved in a few years, achieving the independence of Spain from fossil fuels.

The presented tool offers great versatility and is capable of adopting modifications referring both to the type of road, and to the appearance of new data that modifies or replaces the used ones. Observing the results obtained, the correct functioning of the tool is checked.

Despite the uncertainties in this area, the results obtained are consistent with the starting hypotheses. Even so, the program is very sensitive to the emergence of new technologies that can change the direction of progress.

Studying the results, it is observed that the sections with the largest number of stops do not coincide with those with the highest energy demand. Especially in the first years, the disagreements between both results are greater.

This is especially relevant when conducting economic studies. In its development, results of energy demand distribution are used, and not the number of stops, because as in these calculations it is important to know the income obtained by the electricity consumption and not the number of stops that are made in the charging station.

A significant change in the evolution of the distribution of energy demand is contemplated in the study. By dividing the route of the highway into three equal sections and using the results for the TEC scenario, the change in trend becomes evident, and two different periods of time can be differentiated.

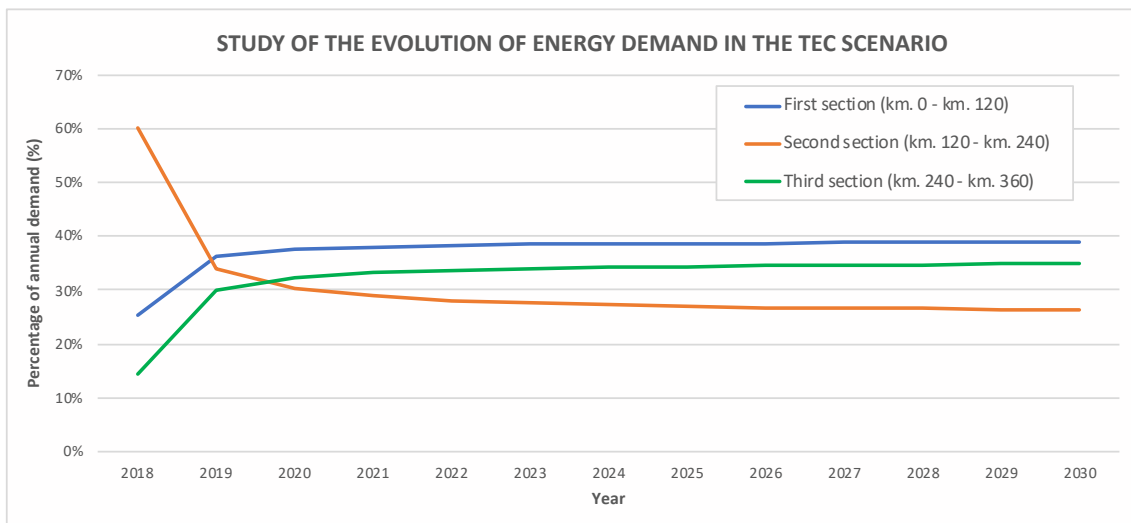


Figure 6. Analysis of the evolution of the demand by sections

In the first period, between 2016 and 2018, the bulk of the demand comes together in the central section of the highway, reaching 60% of the demand for that year, in contrast to the 25% grouped in the first section and the remaining 14% in the third. This is mainly due to the low development in battery autonomy, which means that vehicles must make stops in their journey before reaching destination and that most of these will take place in the central sections of the highway.

In the second period, between 2020 and 2030, the need of load is concentrated at the ends of the highway, in this case in Madrid and Valencia. Percentages of 39% and 35% of the demand are reached, respectively. In contrast, the central stretch accounts for 26% of the demand according to the last year of study. This is due to the fact that the ADR of vehicles is higher in those points, in the second place, because as the autonomy of the cars is greater, few or no stops are necessary.

Despite the polarization that takes place at the ends of the studied highway, it is not easy to choose the section in which to place a new recharging point. There are many uncertainties for the future, especially related to the competitiveness between the different companies when it comes to positioning themselves in the sections with the greatest demand.

This circumstance can cause that, in those areas a priori notable for their high demand, the implementation of a multitude of charging points leads to a dispersion of customers, reducing the number of users per location and therefore the benefits.

For all this, a detailed study is important for the implementation of charging stations in the central sections of the highways, because despite having a lower demand, the benefits may be higher due to the lack of competitiveness.

At present, there are several business models that are willing to invest in the generation of recharging infrastructure.

The independent investor model is currently discarded as a viable option, since the cost of buying the land and qualifying it far exceeds the benefits that can be achieved with the sale of energy. Unlike what happens in urban environments, the recharging posts cannot be placed on the highways in isolation, they must have a minimum infrastructure, which is a cost hard to compensate without the support of a large company.

The model presented by electricity companies does not seem profitable a priori. Again, the economic cost of acquiring a land and enabling it cannot be amortized with the sale

of energy, even taking into account the reduced price that can benefit from the purchase of it. This model, proposed from the generation of an electric station from scratch, is only understood in the case that an improvement of the company's image is sought, obtaining benefits in attracting customers, who welcome the endorsement of measures sustainable and fight against climate change. Otherwise, the benefits will not be enough to cover the initial investment.

The third model analyzed corresponds to existing hotel and restaurant establishments, which can obtain great benefits with the installation of charging points, especially if they reach agreements with electric companies or electric car manufacturers that minimize the costs of implementation or purchase of energy. The competitive advantages of this model are determined by the low cost of enabling the charging area, and the benefit produced by the increase of customers forced to dedicate the waiting time to a possible consumption in the main establishment. As a disadvantage, it can be pointed out that these establishments are not usually located on the service roads on the highways, so users have to deviate from the route with the consequent upset and on also, it requires a greater effort to publicize the service offered.

Lastly, oil companies that have agreements with other utilities are the ones that produce the greatest benefit in the short and long term, obtaining higher yields than those of other sectors with similar agreements. This model reaches a profit of around 10% in the fourth year of the period analyzed and increases to 47% in the tenth and last.

This fourth model starts with very low implementation costs, having only to carry out adaptation works of the facilities to which the energy purchase prices are very low. As in the previous model, if they have an annexed restaurant, they will have the additional benefits due to the increase in their activity. Other competitive advantages compared to the cases already analyzed are the location in strategic points of the highways, with access already established, not being necessary to make an effort to publicize their activity. In addition, they have specialized personnel, so they do not have expenses for the incorporation of additional personnel. This model achieves benefits of around 16% in the fourth year, that is, slightly higher than the previous model, subsequently rising to 52% in the last year.

Therefore, it is concluded that the most sustainable models are those that have an additional activity to the sale of energy and that do not need to acquire a land for the installation of the chargers.

The rapid development of technologies in the automotive field can be a disadvantage when it comes to investing in the generation of infrastructure in interurban environments. If large enough advances are made in the autonomy of the vehicles, these electric stations may no longer be profitable. To understand that, we have to reflect on the type of charge that is made on electric vehicles.

Unlike in combustion cars, recharging is preferably carried out at night, thus benefiting from reduced rates during off-peak hours. This type of refueling is normally carried out in a private home or other authorized center.

If this is the usual behavior when refueling, especially before starting a long journey, we are facing a serious problem. In the case of sufficient autonomy development to be able to reach the destination without making stops, it is possible that the use of petrol stations on interurban roads is reduced to sporadic customers, leaving the return on investment jeopardized.

Unlike in combustion cars, the recharging of electric vehicles is preferably carried out in private homes and at night, trying to benefit from nightly rates, in addition to the savings in time involved.

If this is the usual behavior when refueling, especially before starting a long journey, drivers will not make stops while autonomy allows. This, added to a probable development of the batteries that allows to travel long distances, can be translated in a residual use of the charging stations located in interurban roads, being jeopardized the profitability of the investment.

RESUMEN EJECUTIVO

La movilidad eléctrica se presenta hoy en día como la alternativa con mayor potencial para sustituir a los coches de combustión interna, favoreciendo de esta forma la transición energética hacia un desarrollo sostenible.

Con la intrusión de grandes multinacionales en el sector, se produce un incremento de la inversión en infraestructura de recarga, que irá acompañado de un aumento de las ventas de los coches eléctricos. Si esta participación es favorecida por medidas gubernamentales, es posible que en pocos años se alcance la independencia de España de los combustibles fósiles.

Sin embargo, esta revolución se ve en ocasiones frenada por la falta de infraestructura de recarga. El objetivo de este proyecto es por tanto el estudio del desarrollo de esta infraestructura en zonas interurbanas. Para ello se elabora una herramienta capaz de estimar las necesidades de recarga según la evolución del parque de vehículos eléctricos, además de la demanda energética en los distintos tramos de la autovía estudiada (A3). Estos valores serán empleados posteriormente para el estudio de los distintos modelos de negocio, susceptibles de invertir en la instalación de electrolinerías.

Los resultados del estudio de la evolución de la demanda indican una polarización de esta en los extremos de la carretera, debido al esperado aumento de la autonomía de los vehículos eléctricos. A pesar de que situar las electrolinerías en esos tramos puede aportar grandes beneficios, incertidumbres referentes a la alta competitividad en estas zonas pueden disminuir la rentabilidad de las inversiones. Esto supondría por tanto que, en los tramos centrales en los que se aglutina el 36% de la demanda en los últimos años, sean localizaciones a tener en cuenta.

A continuación, se estudian tres posibles modelos de centros de recarga interurbanos.

De los cuatro modelos de negocio estudiados, los dos primeros, inversores independientes y compañías eléctricas que requieran la adquisición del terreno o su habilitación, no son rentables en la actualidad, dando pérdidas en los primeros diez años.

El tercer lugar, los establecimientos que deciden invertir en la instalación de surtidores en sus negocios como actividad complementaria, obtendrán beneficios ligeramente inferiores a los del modelo de compañías petroleras, alcanzando un beneficio del 10% en el cuarto año y en torno al 47% en el décimo. No se valoran los beneficios adicionales en el caso de alcanzar acuerdos con otras compañías eléctricas, que permitan abaratar la compra de energía.

Por último, se engloban aquellas compañías petroleras que alcanzan acuerdos con eléctricas para la distribución de energía en sus estaciones de servicio. Estas alcanzan beneficios en torno al 16% en el cuarto año, y del 52% en el último.

El inconveniente en la inversión de generación de electrolinerías en medios urbanos se encuentra en la incertidumbre en el desarrollo de las tecnologías en el sector eléctrico automovilístico. Un aumento significativo de la autonomía, acompañado de la preferencia de los propietarios de efectuar la recarga en domicilios privados y de noche, puede suponer que el uso de estas electrolinerías sea residual, viéndose comprometida su rentabilidad.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1- Motivación.....	1
1.1.1- Acuerdo de París (2015).....	2
1.1.2- Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	4
1.2 - Estado del arte	5
1.3 - Objetivos	8
1.4 - Estructura del documento	9
CAPÍTULO 2.- METODOLOGÍA	11
2.1- Análisis de la herramienta.....	11
2.1.1- Escenarios planteados para el estudio	12
2.1.2- Clasificación de los vehículos	13
2.1.3- Estado actual de las baterías.....	14
2.2- Hipótesis de trabajo	17
2.3- Funcionamiento del programa.....	24
2.3.1- Herramienta de cálculo.....	24
2.3.2- Cálculo de optimización.....	29
2.3.3- Modelo económico	30
2.4- Replicabilidad del modelo	32
2.4.1- Modificación para otras autovías nacionales	32
2.4.2- Modificación para autovías pertenecientes a otros países.....	33
2.5- Escalabilidad del modelo	33
2.6- Conclusiones	34
CAPÍTULO 3.- CASO ESTUDIO: AUTOVÍA MADRID – VALENCIA (A3).....	35
3.1 - Presentación de los resultados.....	35
3.2- Conclusiones	38
CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE NEGOCIO.....	41
4.1- Modelo independiente	41

4.1.1- Descripción del modelo.....	41
4.1.2- Análisis de los resultados	42
4.2- Modelo de compañía eléctrica.....	43
4.2.1- Descripción del modelo.....	43
4.2.2- Análisis de los resultados	43
4.3- Modelo de establecimiento en explotación.....	44
4.3.1- Descripción del modelo.....	44
4.3.2- Análisis de los resultados	44
4.4- Modelo de compañía petrolera y eléctrica.....	45
4.4.1- Descripción del modelo.....	45
4.4.2- Análisis de los resultados	45
4.5- Comparativa de los modelos de negocio.....	46
4.6- Conclusiones	47
CAPÍTULO 5.- CONCLUSIONES DEL TRABAJO E IMPACTO	49
5.1- Conclusiones del estudio	49
5.2- Impacto.....	51
5.2.1- Medioambiental.....	52
5.2.2- Social.....	52
5.2.3- Empresarial.....	52
CAPÍTULO 6.- REFERENCIAS	53
CAPÍTULO 7.- ANEXOS	57
Anexo I - Datos de las variables de entrada	57
Anexo I. a - Cálculo del espectro de autonomía.....	57
Anexo I. b - Cálculo del espectro de capacidad de las baterías.....	61
Anexo I. c - Cálculo del IMD de vehículos eléctricos circulante por cada tramo de la carretera estudiada	61
Anexo II - Funcionamiento de la herramienta.....	64
Anexo II. a - Cálculo de estacionamientos y de demanda energética	64
Anexo II. b - Cálculo de estacionamientos y de demanda energética	64
Anexo II. c - Acumulado de demanda para el modelo económico.....	67
Anexo III - Resultados del caso estudio	69
Anexo III. a - Escenario de Política Actual (PA)	69
Anexo III. b - Escenario Tecnológico (TEC)	71

Anexo III. c - Escenario Tecnológico Rápido (TEC Rápido)	73
Anexo III. d - Resultados del cálculo de optimización.....	75
Anexo IV - Resultados de los cálculos económicos	77
Anexo IV. a - Cálculo de la inversión para cada modelo empresarial	77
Anexo IV. b - Plan de empresa para el modelo independiente.....	79
Anexo IV. c - Plan de empresa para el modelo de compañía eléctrica	79
Anexo IV. d - Plan de empresa para el modelo de establecimiento en explotación...	80
Anexo IV. e - Plan de empresa para el modelo de compañía petrolera y eléctrica	80

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Nuevas matriculaciones de VE en España (OVEM19)</i>	1
<i>Figura 2. Resumen de las claves del Acuerdo de Paris (EFEV15)</i>	2
<i>Figura 3. Evolución de la infraestructura de recarga en España (OVEM19)</i>	3
<i>Figura 4. Infraestructura pública de recarga en países de la UE (OVEM19)</i>	4
<i>Figura 5. Objetivos de Desarrollo Sostenible de España (ICO_19)</i>	4
<i>Figura 6. Plan de Iberdrola para el desarrollo de electrolineras en España</i>	6
<i>Figura 7. Electromaps - Estaciones de recarga en España (ELEM19)</i>	8
<i>Figura 8. Esquema del funcionamiento de la herramienta</i>	11
<i>Figura 9. Incremento anual de la flota</i>	19
<i>Figura 10. Evolución del espectro de autonomía para el escenario PA</i>	20
<i>Figura 11. Evolución del espectro de autonomía para el escenario TEC</i>	20
<i>Figura 12. Evolución del espectro de autonomía para el escenario TEC Rápido</i>	20
<i>Figura 13. Estimación del rango de capacidades de las baterías</i>	22
<i>Figura 14. Estimación del número de vehículos eléctricos para cada escenario</i>	23
<i>Figura 15. Estimación del número de vehículos de combustión para cada escenario</i>	23
<i>Figura 16. Estimación del número de vehículos totales para cada escenario</i>	23
<i>Figura 17. Esquema del funcionamiento del programa</i>	24
<i>Figura 18. Gráfica del número de vehículos eléctricos circulando por cada tramo, para el año y el escenario escogido</i>	26
<i>Figura 19. Gráfica de corrección del IMD para cada semana del año</i>	29
<i>Figura 20. Evolución anual de la demanda energética en el escenario PA</i>	30
<i>Figura 21. Evolución anual de la demanda energética en el escenario TEC</i>	31
<i>Figura 22. Evolución anual de la demanda energética en el escenario TEC Rápido</i>	31
<i>Figura 23. Mapa del recorrido de la Autovía del Este (A3)</i>	35
<i>Figura 24. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario TEC</i>	36
<i>Figura 25. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario TEC</i>	36
<i>Figura 26. Asignación de locales por cada tramo</i>	37
<i>Figura 27. Análisis de la evolución de la demanda por tramos</i>	39
<i>Figura 28. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario PA</i>	69
<i>Figura 29. Desglose del reparto de estacionamientos por sentido de circulación en el escenario PA</i>	70
<i>Figura 30. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario PA</i>	70
<i>Figura 31. Desglose del reparto de la demanda energética por sentido de circulación en el escenario PA</i>	71
<i>Figura 32. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario TEC</i>	71

<i>Figura 33. Desglose del reparto de estacionamientos por sentido de circulación en el escenario TEC.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 34. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario TEC.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 35. Desglose del reparto de la demanda energética por sentido de circulación en el escenario TEC.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 36. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario TEC Rápido.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 37. Desglose del reparto de estacionamientos por sentido de circulación en el escenario TEC Rápido.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 38. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario TEC Rápido ...</i>	<i>74</i>
<i>Figura 39. Desglose del reparto de la demanda energética por sentido de circulación en el escenario TEC Rápido</i>	<i>75</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Parque de vehículos eléctricos español.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 2. Cálculo del espectro de autonomías para los años 2016 a 2018.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 3. Incremento de la flota de vehículos llevado a cabo en cada escenario.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4. Espectro de autonomía calculado para cada año en el escenario PA.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 5. Espectro de autonomía calculado para cada año en el escenario TEC.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 6. Espectro de autonomía calculado para cada año en el escenario TEC Rápido.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 7. Espectro de capacidad de las baterías.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 8. Datos del parque automovilístico por año.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 9. Ejemplo de la estimación del IMD de vehículos eléctricos circulando en cada tramo de la autovía para cada año estudiado.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 10. Ejemplo de la estimación del IMD de vehículos totales circulando en cada tramo de la autovía para cada año estudiado.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 11. Tablas con la asignación de los distintos tramos para ambos sentidos de circulación.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 12. Resultados ejemplo del cálculo de estacionamientos.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 13. Resultados ejemplo del cálculo de demanda energética.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 14. Resultados del cálculo de necesidad de carga para cada año en el escenario PA.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 15. Resultados del cálculo de necesidad de carga para cada año en el escenario TEC.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 16. Resultados del cálculo de necesidad de carga para cada año en el escenario TEC R.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 17. Distribución de los estacionamientos por tramos diaria y anual en el escenario PA.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 18. Distribución de la demanda energética por tramos diaria y anual en el escenario PA.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 19. Distribución de los estacionamientos por tramos diaria y anual en el escenario TEC.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 20. Distribución de la demanda energética por tramos diaria y anual en el escenario TEC.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 21. Distribución de los estacionamientos por tramos diaria y anual en el escenario TEC Rápido.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 22. Distribución de la demanda energética por tramos diaria y anual en el escenario TEC Rápido.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 23. Resultados del cálculo de optimización para el escenario PA.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 24. Resultados del cálculo de optimización para el escenario TEC.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 25. Resultados del cálculo de optimización para el escenario TEC Rápido.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 26. Datos escogidos para el cálculo económico.....</i>	<i>77</i>

<i>Tabla 27. Cálculo de la inversión</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 28. Previsión ingresos y gastos del modelo independiente.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 29. Previsión ingresos y gastos del modelo de compañía eléctrica</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 30. Previsión ingresos y gastos del modelo de establecimiento</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 31. Previsión ingresos y gastos del modelo de compañía petrolera y eléctrica.....</i>	<i>80</i>

Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN

1.1- Motivación

En la actualidad, y debido a la amenaza cada vez más apremiante del cambio climático, se aprecia un progresivo cambio en la percepción que tiene la sociedad de lo que es más adecuado, para la población y para el planeta, a la hora de producir y consumir energía.

Con la aparición de las energías renovables y la mejora en los rendimientos de las nuevas tecnologías de la energía se pretende no solo modificar la forma en la que esta es generada, desplazándose hacia procesos más ecológicos y respetables con el medio ambiente, sino también llevar a cabo un consumo responsable y lo más eficiente posible de la energía generada.

Es en este ámbito donde la movilidad tendrá un papel protagonista. Las nuevas tecnologías en el transporte favorecerán en los próximos años una revolución que permitirá a España y a Europa una reducción de las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero. Problemas que amenazan la salud global y que deben ser erradicados lo antes posible si queremos mantener las condiciones de vida actuales.

Dentro del ámbito automovilístico, distintas alternativas al coche de combustión interna están ya en funcionamiento, siendo el vehículo eléctrico la alternativa más atractiva y prometedora. En efecto, el coche eléctrico ya suscita grandes expectativas en cuanto a la posibilidad de sustituir completamente a los tan arraigados vehículos convencionales, de diésel o gasolina, superándolos en eficiencia tanto a corto como a largo plazo. Las matriculaciones de este tipo de vehículos son cada vez mayores en España (*Figura 1*) y a pesar de que hoy en día los coches eléctricos conformen poco menos que el 1% del parque automovilístico actual, son la alternativa más prometedora.

Medidas no solo a nivel nacional sino también internacional han sido tomadas para regular estas nuevas tecnologías y potenciar su uso, además de la inversión por parte de las empresas y los usuarios, para de esta forma alcanzar los objetivos fijados.

En este ámbito destaca el Acuerdo de París (EURO15), alcanzado en 2015 y firmado por más de 195 países. Este acuerdo es expuesto a continuación.

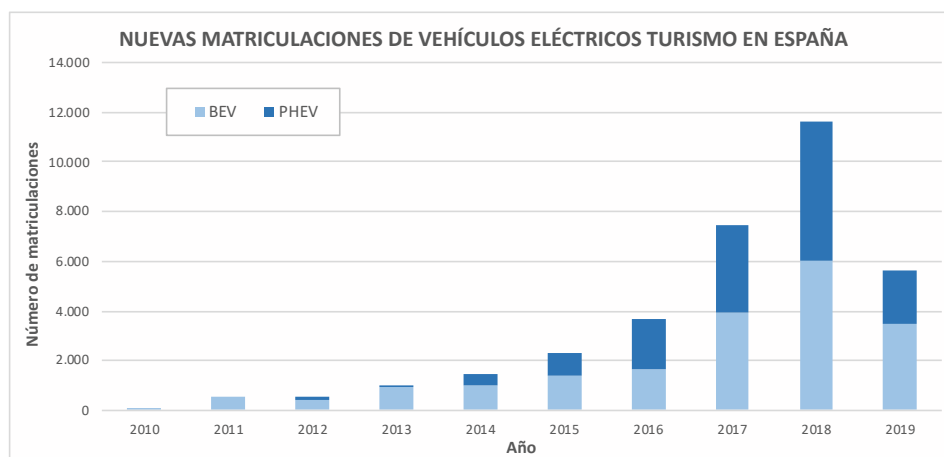


Figura 1. Nuevas matriculaciones de VE en España (OVEM19)

1.1.1- Acuerdo de París (2015)

El Acuerdo de París (EURO15) es un acuerdo dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global, su aplicabilidad sería para el año 2020, cuando finaliza la vigencia del Protocolo de Kioto. (NNUU98)

España deberá tomar medidas drásticas para cumplir los requisitos establecidos por el este acuerdo y por la Unión Europea. En este aspecto, el vehículo eléctrico tendrá un papel fundamental en la transición energética (WIKI19).

Según un estudio presentado por la consultora Monitor Deloitte (DELO16), para contribuir significativamente a la lucha contra el cambio climático, España debería llevar a cabo una serie de reformas en diferentes ámbitos entre los que se encuentra, por supuesto, el automovilístico. En este campo, en el cual se basa este trabajo, se espera una revolución tal que haga posible un año 2050 en el cual el 100% de los vehículos usen energía eléctrica.



Figura 2. Resumen de las claves del Acuerdo de París (EFEV15)

Para alcanzar este objetivo tan ambicioso, sería conveniente que en el año 2030 los porcentajes de vehículos eléctricos en el parque automovilístico español fuesen de entre el 7 y el 10%. Esto, en términos de ventas, supondría 750.000 vehículos al año.

A pesar de los reiteradamente probados beneficios de la tecnología automovilística eléctrica frente a la de combustión, la revolución se abre paso en nuestro país a una velocidad lenta. Esto es, en gran medida, debido a la falta de infraestructura de recarga, especialmente en vías interurbanas.

El problema podría ser representado con la paradoja del huevo y la gallina (¿qué fue antes?), puesto que nos encontramos estancados en un círculo vicioso que impide a la reforma seguir su curso natural:

Sin una infraestructura de recarga que asegure la comodidad de los compradores pioneros, pocos se atreven a desprenderse de su actual vehículo de combustión a cambio de uno eléctrico.

Así mismo, sin un público al que poder ofrecer el servicio de manera que reporte beneficios a la empresa, pocas están dispuestas a invertir en la creación de una infraestructura que posibilite el cambio.

En estos momentos, el número de estaciones de repostaje es reducido (*Figura 3*), y a pesar de que el problema está siendo subsanado con relativa rapidez en medios urbanos, donde el repostaje se puede realizar tanto en domicilios privados como en centros comerciales u otros edificios públicos, la escasez en zonas interurbanas sigue suponiendo un problema (REE_19).

España ocupa la sexta posición entre los países con mayor número de centros de recarga en la UE (*Figura 4*) pero, aunque se puede observar un progreso significativo y un aumento del compromiso social y empresarial con el cambio, seguimos aún alejados de otros países como Alemania o Países Bajos.

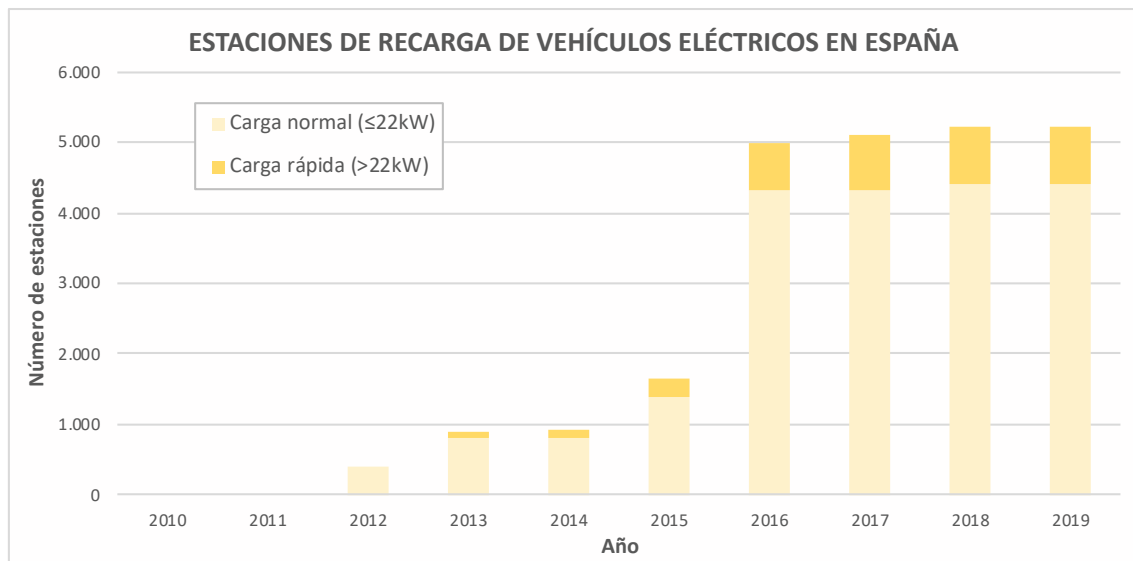


Figura 3. Evolución de la infraestructura de recarga en España (OVEM19)

El objetivo de este proyecto es por tanto el estudio de la necesidad de infraestructura y la colocación óptima de estos nuevos puntos de recarga en las principales vías de la Red de Carreteras Española.

Además, este proyecto está acompañado de un análisis económico para los distintos modelos empresariales, candidatos a invertir económicamente en la instalación de electrolineras.

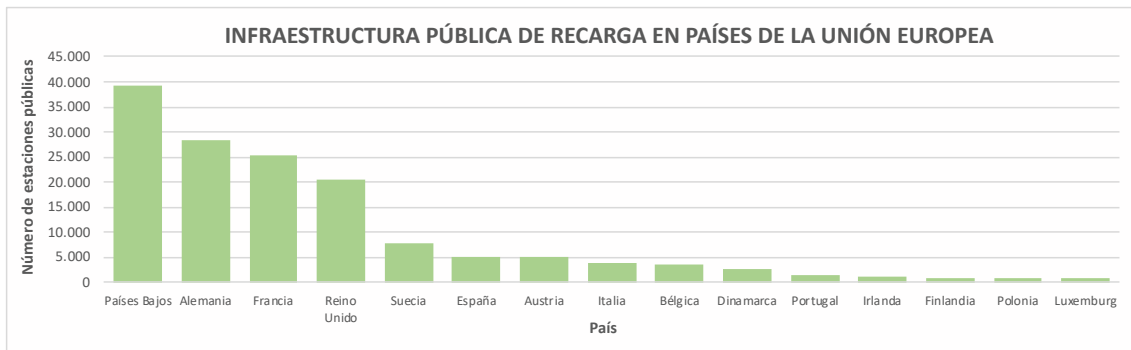


Figura 4. Infraestructura pública de recarga en países de la UE (OVEM19)

1.1.2- Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La Asamblea General de la ONU adoptó en septiembre de 2015 la **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (REDS17)**, un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia.

La Agenda plantea **17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con 169 metas** de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Figura 5. Objetivos de Desarrollo Sostenible de España (ICO_19)

Dentro de los objetivos planteados en esta agenda, los relacionados con la movilidad eléctrica, y que por tanto son significativos para este proyecto, se desarrollan a continuación.

ODS 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

ODS 9. Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

ODS 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

ODS 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

En estos cuatro objetivos para el desarrollo queda por tanto recogida la motivación nacional para alcanzar los objetivos fijados de manera responsable y lo más tempranamente posible.

1.2 - Estado del arte

En la actualidad, son muchas las empresas, no solo eléctricas sino también petroleras y automovilísticas, que han iniciado proyectos para la instalación de centros de recarga o que ya cuentan con una red de suministro.

La involucración de grandes compañías como Iberdrola, Endesa o Cepsa reafirma el hecho de que el vehículo eléctrico es la tecnología llamada a sustituir el automóvil de combustión convencional en los próximos años. Los coches eléctricos puros se desmarcan de otras tecnologías automovilísticas que hoy en día no alcanzan el mismo nivel de desarrollo, como puede ser lo vehículos de pila de combustible.

De entre los planes llevados a cabo por empresas eléctricas cabe destacar los propuestos por dos españolas.

Iberdrola (IBER18) fue en este caso la primera compañía eléctrica en iniciar el despliegue de una serie de cargadores en España. Estos, en unos años, cubrirán gran parte del terreno nacional, permitiendo a los usuarios de vehículos eléctricos realizar la recarga del coche en diversos puntos distribuidos por los principales autovías y corredores españoles. El plan iniciado por la compañía pretende instalar más de 200 estaciones de recarga rápida, al menos una cada 100 kilómetros en las principales vías, además de una serie de cargadores que permitan la recarga superrápida y la ultrarrápida (que permite repostar la mayor parte de la batería entre 5 y 10 minutos) (CIRC19). La compañía asegura además que la electricidad que se suministrará en estos puntos será 100% limpia y procedente de fuentes renovables.

De esta forma, Iberdrola (IBER19) adopta una estrategia favorable de cara a la movilidad sostenible. El plan general pretende la instalación de 25.000 puntos de recarga en cuatro años.

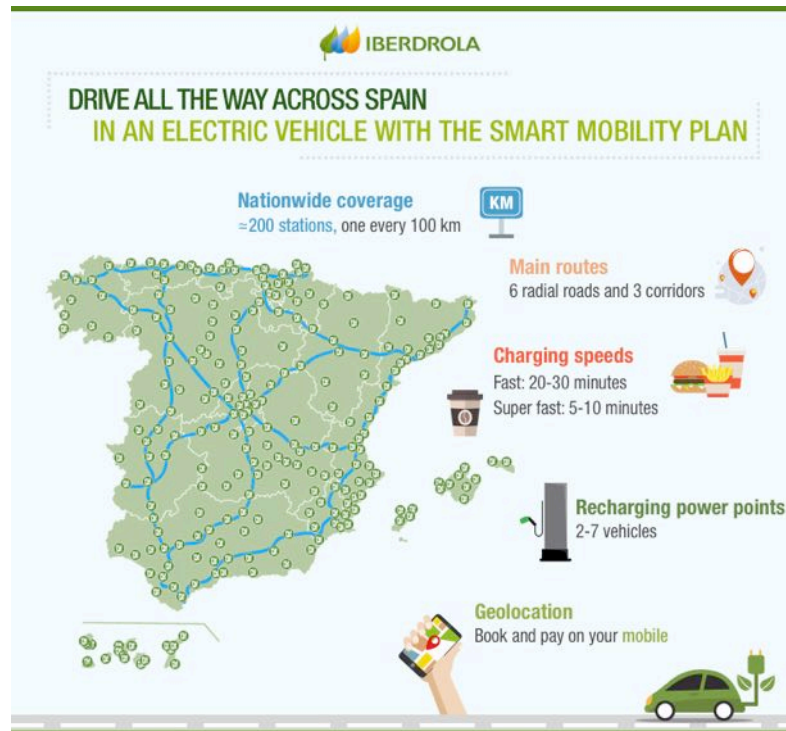


Figura 6. Plan de Iberdrola para el desarrollo de electrolineras en España

Otra de las grandes compañías eléctrica que aboga por el cambio de paradigma hacia la movilidad sostenible es Endesa (ENDE18). Su iniciativa parte de la creación una nueva marca, Endesa X, presentada este mismo año. Los objetivos de esta marca serán la instalación de 8.500 puntos de recarga, 2.000 de ellos en los dos primeros años. De esta forma, la empresa se posiciona en el desarrollo de infraestructura de recarga para vehículos eléctricos facilitando a su vez la inserción de estos en el mercado automovilístico. El plan general pretende la instalación de 100.000 puntos recarga alimentados al 100% por energía proveniente de fuentes renovables en los próximos 5 años.

Ambas empresas contarán además con aplicaciones móviles para que el usuario pueda encontrar fácilmente puntos donde efectuar el repostaje. Otras medidas dedicadas a fomentar el uso de los vehículos eléctricos serán también adoptadas por estas compañías en los próximos años.

Dentro del ámbito de las grandes compañías petroleras, cabe destacar los movimientos efectuados por Cepsa y Repsol para ayudar a la electrificación del transporte, como parte de su compromiso con la lucha contra el cambio climático.

La empresa energética Cepsa (CEPS18) ha alcanzado un acuerdo de colaboración con IONITY (IONI19), a través del cual la empresa colaboradora instalará puntos de carga ultrarrápida en hasta 100 establecimientos de la energética Cepsa. Esto tiene como objetivo que los vehículos eléctricos puedan efectuar recorridos de larga distancia.

La energía suministrada por Cepsa en estos puntos de recarga será de origen 100% renovable. Con este acuerdo IONITY desarrollará su red de recarga rápida de manera preferente en las estaciones de Cepsa tanto en España como Portugal.

La otra compañía energética que ha iniciado movimientos en este ámbito es Repsol (REPS19). En la actualidad se posicionan como líderes en la instalación de carga rápida en estaciones de servicio en España. La energía que se suministra es también en este caso de origen 100% renovable. A través de IBIL, empresa impulsada por Repsol, cuentan con 31 puntos de recarga rápida en España, además de uno de recarga ultrarrápida.

De forma adicional, Repsol ha sido una de las primeras compañías en contribuir a la creación de una compañía de carsharing, en este caso WiBLE, para fomentar el uso del vehículo eléctrico.

Por último, cabe destacar el papel desempeñado por Tesla (TESL19) entre las empresas automovilísticas que mayor contribución realizan a la infraestructura de recarga, especialmente en medios interurbanos. La compañía cuenta hoy en día con 1.533 estaciones de servicio en funcionamiento, donde se pueden encontrar 13.344 supercargadores. La desventaja de este tipo de centros de recarga es que no siempre pueden ser empleados por usuarios que no dispongan de un vehículo de la compañía, quedando su uso muy limitado. Sin embargo, no es difícil encontrar cargadores Tesla denominados de “carga en destino” que pueden ser utilizados por cualquier vehículo en establecimientos como hoteles o restaurantes en autovías u otras carreteras.

El fin que busca Tesla con la instalación de estos cargadores es fomentar la compra de sus vehículos, asegurando una infraestructura de recarga capaz de abastecer a sus clientes en prácticamente cualquier recorrido que realicen fuera de las grandes ciudades.

Son muchas las compañías pertenecientes a cualquiera de los sectores mencionados que han iniciado planes para adoptar un papel relevante en la transición energética, impulsando de esta forma la sostenibilidad y ayudando al cese del cambio climático.

En el estudio presentado en este informe se lleva a cabo un proceso de análisis de carreteras, consiguiendo de esta forma identificar en qué puntos de estas sería más conveniente situar los puntos de carga. Esta tarea también está siendo llevada a cabo por las grandes compañías mencionadas anteriormente, de forma previa a la elección del emplazamiento deseado.

En los modelos económicos que se estudian en el *Capítulo 4* se ven reflejados los planes de negocio presentados por cada una de estas compañías de cara a la implantación de las electrolineras tanto en locales propios como en otros comercios.

La infraestructura actual en España esta en constante crecimiento, y ya son muchas las localizaciones en las que se puede recargar un automóvil eléctrico, tanto en zonas urbanas como interurbanas. Hay aplicaciones y páginas web (ELEM19), (OPEN19) que facilitan la localización de estos puntos, para minimizar las molestias de los usuarios a la hora de escoger un centro donde repostar.

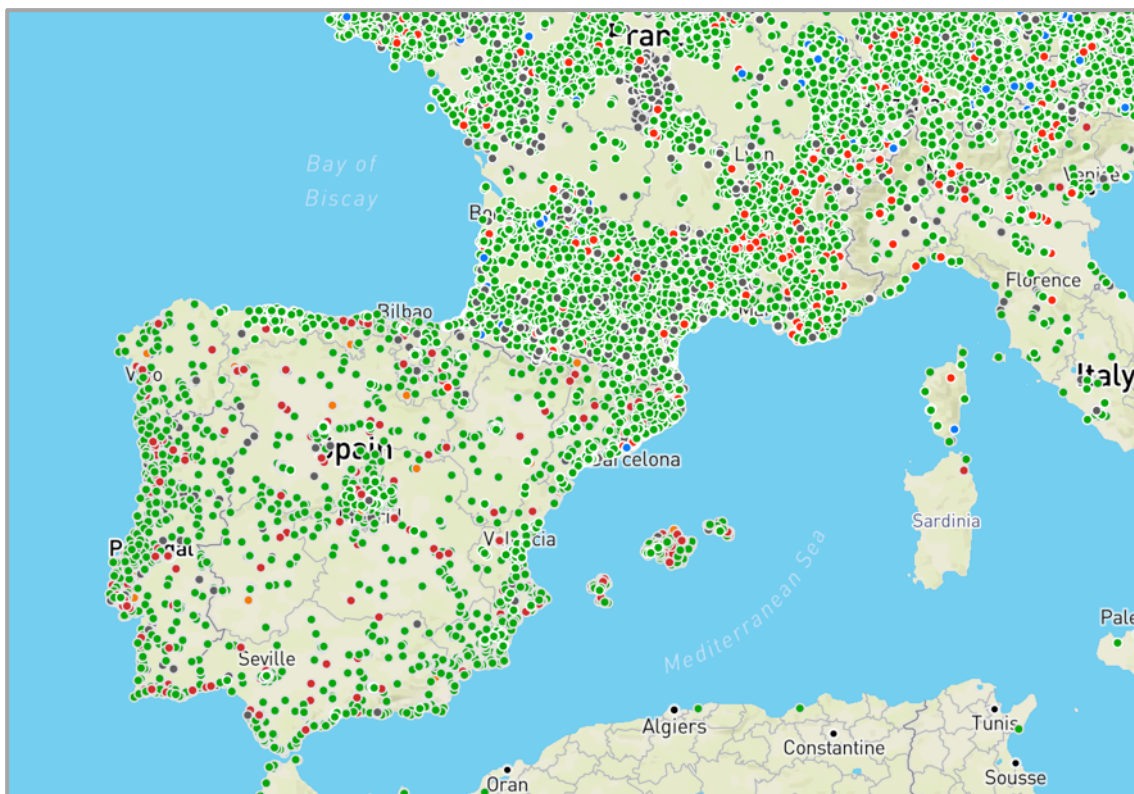


Figura 7. Electromaps - Estaciones de recarga en España (ELEM19)

1.3 - Objetivos

En este proyecto se pueden discernir dos objetivos fundamentales.

El primero es el análisis de la flota de vehículos eléctricos actual, así como el cálculo de las estimaciones y el planteamiento de hipótesis de trabajo, que sentarán la base del cálculo posterior, en el cual se obtendrá como resultado el número de estacionamientos para recarga, la localización de estos en la vía estudiada y la demanda eléctrica para el repostaje en cada uno de los nuevos locales.

El segundo objetivo es el análisis económico para la instalación de las electrolineras que abastecerán la demanda calculada.

La herramienta de cálculo generada deberá ser capaz de evaluar para cada año, dentro del período especificado, las necesidades de instalación de puntos de recarga en medios interurbanos.

Este programa posibilitará la identificación de los puntos en los que se producirá mayor número de paradas para repostaje a lo largo de la autovía estudiada, además de la energía (kWh al año) que será necesario suministrar para esta recarga. Se calculará un acumulado anual para ambos casos, simplificando de esta forma los cálculos para el estudio económico posterior.

El cálculo deberá poder reproducirse para cada año dentro del período objetivo, en este caso entre los años 2019 y 2030, valiéndose para ello de datos recogidos de distintas empresas del sector y de estimaciones

hechas a partir de estos datos para los años de los que aun no se disponga de información suficiente (AEDI19).

Las variables de entrada que el programa empleará para el cálculo serán el número de coches que circulan por cada tramo de la autovía estudiada (IMD), el número de vehículos que forman parte de la flota de automóviles de ese año y las distribuciones de autonomía y de capacidad de las baterías del parque automovilístico.

En los casos en los que estos datos no se puedan obtener, como se ha indicado anteriormente, debido a falta de registros o a que se trata de predicciones de futuro, los datos de entrada serán estimados, partiendo de los recogidos para años anteriores.

Una vez obtenidos los resultados del cálculo, se procederá a la elaboración de un estudio económico en el que se plantearán cuatro modelos de negocio diferentes en función de la entidad inversora. De esta forma se podrá estimar la viabilidad económica del proyecto, con el fin de favorecer la futura inversión de compañías o particulares en la implantación de estructura de recarga.

Con este estudio se pretende fomentar la inversión para, de esta forma, alentar al consumidor a la compra de vehículos eléctricos, permitiendo que en viajes de largo recorrido se pueda llevar a cabo la recarga de la batería en electrolinerías distribuidas por las principales autovías del país.

Aumentando la confianza del consumidor se conseguirá un aumento de la flota de vehículos eléctricos que irá a su vez acompañado de un aumento de la inversión y por tanto de un crecimiento de la red de infraestructura de recarga, lo que de nuevo hará retroalimentarse al sistema incrementando el número de compradores.

Esto favorecerá además a largo plazo el cumplimiento de las condiciones presentadas a España por la Unión Europea de desarrollo sostenible y cambio climático.

1.4 - Estructura del documento

La estructura que sigue este documento consta de siete capítulos. En primer lugar, se incluye una introducción al problema de escasez de infraestructura de puntos de recarga, con el objetivo de concienciar al lector de la necesidad de inversión en este ámbito si se quieren alcanzar los objetivos fijados por el Tratado de París para el año 2050.

A continuación, se presenta la metodología empleada para el desarrollo de la herramienta de cálculo, así como las hipótesis y el método utilizado para llevar a cabo las estimaciones y predicciones de futuro que se han empleado.

Se exponen a su vez los distintos escenarios contemplados de cara al futuro, así como los distintos tipos de vehículos existentes en la actualidad y el estado actual de las baterías y combustibles alternativos que se emplean.

Para acabar esta sección, se describe el manejo de la herramienta de cálculo para facilitar su uso y permitir llevar a cabo cálculos de manera rápida, además de las posibles modificaciones que se pueden realizar en caso de que estas sean necesarias.

También es de especial importancia el estudio de la replicabilidad y la escalabilidad de la herramienta diseñada.

Al haber sido elaborado el programa con el objetivo de poder ser empleado para el análisis sencillo de cualquier tipo de carretera, nacional o internacional, el programa permite ser fácilmente modificado tanto para otras autovías, como para carreteras provinciales o costeras de España o internacionales, siempre que se tenga acceso a los datos de tráfico necesarios para las entradas de la herramienta.

El caso estudio es presentado posteriormente. En este proyecto se opta por la implementación en la Autovía Nacional del Este (A3), que conecta las ciudades de Madrid y Valencia. Los obtenidos para este caso estudio son representativos de aquellos que se obtendrían para cualquiera de las otras autovías de la red nacional. Mediante este ejemplo, se obtienen resultados que posteriormente ayudarán a clarificar el método empleado y servirán a su vez para realizar la estimación económica, fin último de este proyecto.

Los distintos modelos de negocio son desarrollados en el siguiente capítulo. Se expone detalladamente cada uno de ellos y se presentan los datos económicos que supondrían la inversión en cada uno de los casos.

Los ingresos y gastos son debidamente calculados para cada caso, así como el posible beneficio para el año y el escenario escogidos.

Por último, se presentan las conclusiones del proyecto y el impacto que este pueda conllevar tanto medioambiental como social y empresarial.

Capítulo 2.- METODOLOGÍA

2.1- Análisis de la herramienta

El objetivo del trabajo consiste en el estudio de viabilidad económica para la instalación de nuevos puntos de recarga para vehículos eléctricos a lo largo de una de las principales autovías de España.

Para esto es necesario previamente generar una herramienta que permita calcular, para cada una de estas autovías, los puntos donde estacionarán los vehículos, cuántos lo harán cada año y cuánta energía necesitarán para repostar.

Con el fin de obtener esta herramienta se desarrolló un programa empleando el programa Excel del paquete Microsoft Office.

El programa desarrollado consta de tres partes fundamentales.

La primera es la herramienta de cálculo, que permite, a partir unos datos de entrada, calcular en cada tramo de la autovía estudiada, cuántos vehículos paran a repostar y cuál es la demanda energética. Las entradas necesarias son el número de coches eléctricos que circulan cada año, el IMD (Índice Medio Diario) en cada tramo de la autovía estudiada y las distribuciones de autonomía y de rango de las baterías del parque automovilístico.

Para el estudio se contemplan tres escenarios diferentes, el PA (Política Actual), el TEC (Tecnológico), y por último el TEC Rápido (Tecnológico de Rápido desarrollo) que son explicados en detalle más adelante.

En la segunda parte del programa se desarrolla el cálculo de optimización. Este permite identificar en qué tramos es más conveniente situar las electrolineras.

Por último, se desarrollan los distintos modelos de negocio, además de los cálculos económicos pertinentes.

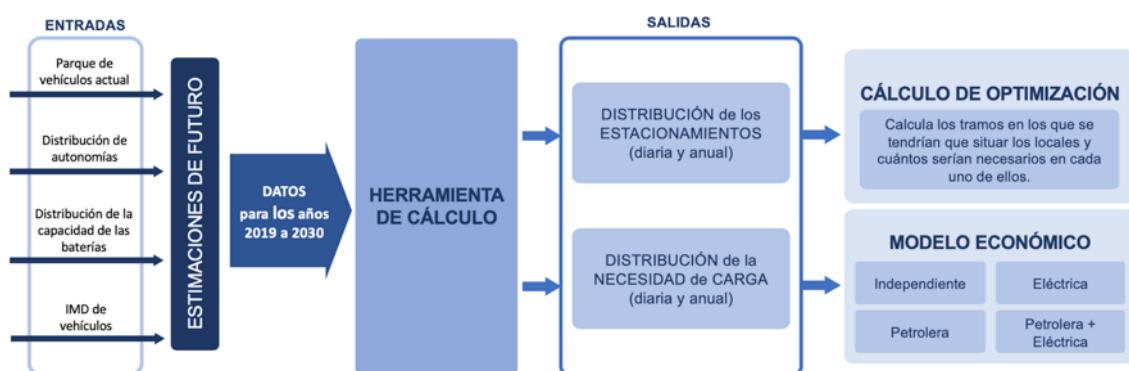


Figura 8. Esquema del funcionamiento de la herramienta

2.1.1- Escenarios planteados para el estudio

A la hora de realizar los cálculos relativos a los años 2019 a 2030, la falta de datos requiere de una estimación de estos. Para ello se presentan a continuación tres posibles escenarios, que abarcan el abanico de opciones más probables, teniendo en cuenta el desarrollo del mercado hoy en día. (CAMB18)

Cada uno de estos escenarios es expuesto a continuación junto a sus características diferenciadoras del resto de ellos.

Escenario PA (Política actual). Sería el escenario más pesimista de los tres empleados. En éste se han producido mejoras en la eficiencia de los coches de combustión (ICE), así como un despliegue de los vehículos híbridos (HEV), híbridos enchufables (PHEV) y 100% eléctricos (BEV) para cumplir con el objetivo de eficiencia de la Unión Europea de 95 gCO₂/km para 2021 y una reducción adicional en las emisiones promedio de CO₂ de los vehículos nuevos del 15% en 2025 y del 30% en 2030 (en relación con los gCO₂/km de 2021) equivalentes a ~73 gCO₂/km en 2025 y ~53 gCO₂/km en 2030.

No habrá más despliegue de tecnología de eficiencia o de sistemas de propulsión avanzados posterior a 2030.

Escenario TEC (Tecnológico). Sería el escenario más probable. En él los avances tecnológicos han sido suficientes para alcanzar los requisitos de la UE.

Los vehículos nuevos cumplen con el objetivo de 95 gCO₂/km para 2021, ~73 gCO₂/km en 2025 y ~53 gCO₂/km en 2030.

Despliegue ambicioso de tecnologías de bajo consumo de combustible en todos los vehículos nuevos durante el período hasta 2050 combinado con un despliegue ambicioso de sistemas de propulsión avanzados (BEV y FCEV) en el período hasta 2050.

Las ventas de ICE y HEV se eliminarán en 2040, de acuerdo con las políticas ya anunciadas por varios estados miembros de la UE (por ejemplo, Francia, Reino Unido, Países Bajos y Noruega).

Los vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles) ganan participación de mercado después de 2030 y se despliegan en los segmentos mediano y grande (mayor kilometraje anual).

Escenario TEC Rápido (Tecnológico de rápido desarrollo). Es el más optimista de los tres escenarios. Además, coincide con el potencial máximo de desarrollo de estas tecnologías.

Los vehículos nuevos cumplen con el objetivo de 95 gCO₂/km para 2021, ~59 gCO₂/km en 2025 y ~27 gCO₂/km en 2030.

Las ventas de ICE y HEV se eliminan en 2040, de acuerdo con las políticas anunciadas por varios otros estados miembros de la UE.

La rápida utilización de PHEV inicialmente, se considera tecnología puente y se eliminan gradualmente durante el período 2030 – 2050.

Las ventas de PHEV y BEV son iguales hasta 2030, después de lo cual la cuota de mercado de los PHEV disminuye y se convierte en cero en 2050.

Los FVEV ganan cuota de mercado después de 2030 y se despliegan en los segmentos mediano y grande.

Con cada uno de estos escenarios se pretende plantear una hipótesis de evolución del panorama actual. Escenarios más pesimistas en los que no se alcanzan los objetivos fijados por la Unión Europea no han sido contemplados en este trabajo.

2.1.2- Clasificación de los vehículos

Incluidos en el parque automovilístico actual encontramos una amplia gama de vehículos cuyas diferencias radican en el tipo de combustible utilizado, las emisiones que producen y otras características referentes a la tecnología empleada.

A continuación, se presentan las distintas clases de vehículos que encontramos de forma mayoritaria en el mercado, clasificados en función del tipo de combustible que emplean. La nomenclatura utilizada será además una forma abreviada de referirse a ellos de aquí en adelante, sirviendo esta sección de glosario en caso de que se requiera revisar el significado de alguna de ellas (ELEM18).

Vehículos de combustión interna (ICE - Internal Combustion Engine). Grupo formado por aquellos automóviles convencionales de gasolina o diésel con un motor de combustión interna. En los diversos escenarios modelados, existe una variación en el nivel de mejoras de eficiencia del ICE. Estas mejoras incluyen el motor, la transmisión, una reducción de la resistencia de conducción, los neumáticos y la hibridación. Según esta definición de ICE, la hibridación se limita a los micro-híbridos con tecnología de start/stop y pisada regenerativa.

Vehículos eléctricos híbridos (HEV - Hybrid Electric Vehicles). Esta definición cubre los vehículos eléctricos híbridos completos que se pueden ejecutar en modo eléctrico puro durante algún tiempo. Tienen una batería más grande que los micro-híbridos (que están clasificados como ICE).

Vehículos híbridos eléctricos enchufables (PHEV - Plug-In Hybrid Electric Vehicles). Estos automóviles cuentan con una batería grande y un motor de combustión interna. Se pueden enchufar para recargar la batería del vehículo. Vehículos eléctricos con amplidores de rango no están incluidos en el estudio.

Vehículos eléctricos puros (BEV - Battery Electric Vehicles). Esta categoría se refiere a vehículos totalmente eléctricos con batería, pero sin motor de combustión.

Vehículos eléctricos de pila de combustible (FCEV - Fuel Cell Electric Vehicles). Son vehículos alimentados con hidrógeno, que incluyen una pila de combustible y un motor eléctrico alimentado por una batería.

Vehículos eléctricos semihíbridos (MHEV - Mild Hybrid Electric Vehicle). También denominados sistemas de 48 voltios, híbridos parciales o incluso como hibridación leve. Cuentan con un motor de combustión interna como eje central de la mecánica además de un motor eléctrico que proporciona un par extra para mejorar la respuesta del tren de potencia. Cuentan con sistema start/stop y pisada regenerativa.

A pesar de ser muchas las clases de vehículos ecológicos y de emisiones cero que se encuentran actualmente en el mercado, para este estudio solo se han tenido en cuenta los vehículos híbridos enchufables y eléctricos puros, por ser estos los susceptibles de realizar paradas en viajes interurbanos para recargar la batería del coche.

Como se ha indicado en su definición, las baterías de los coches híbridos no enchufables son de menor tamaño y se recargan mediante la frenada regenerativa o empleando la energía proporcionado por el motor de combustión, por lo que su repostaje no puede efectuarse conectando la batería a la red eléctrica. Las paradas para repostaje de estos automóviles requieren por tanto de combustibles convencionales como gasolina o diésel, y por tanto se llevan a cabo en gasolineras, quedando por tanto estos automóviles fuera del ámbito de este proyecto.

Otros vehículos como los de pila de combustible podrían ser añadidos más adelante en caso de ser necesario y producirse un rápido desarrollo de esta tecnología, necesitando incluir simplemente la autonomía de estos ofrecen y por tanto cada cuántos kilómetros sería necesario estacionar para repostar.

En el cálculo de autonomía, es decir, de la distribución de autonomía de los vehículos pertenecientes a la flota actual, solo se han tenido en cuenta los coches eléctricos puros debido a la dificultad para encontrar datos de autonomía global para los vehículos híbridos enchufables.

Siendo de relativa facilidad en el caso de los híbridos enchufables encontrar datos referentes a la autonomía aportada por el motor eléctrico, no es fácil encontrarlos de autonomía mixta, al ser este dato poco frecuente en motores de combustión interna. Por esto, se ha asumido que la distribución obtenida para vehículos eléctricos puros es extrapolable al resto de la flota, englobando a los turismos híbridos enchufables en ella.

2.1.3- Estado actual de las baterías

La batería es el componente principal de los vehículos eléctricos puros, de ahí su denominación inglesa como battery electric vehicles o BEV (CAMB18).

Factores tan importantes como la autonomía del coche o su precio dependen en gran medida del tipo de batería y del tamaño de esta, entre otras características.

Las baterías son dispositivos capaces de almacenar energía en forma de electricidad mediante elementos electroquímicos. Los rendimientos que presentan este tipo de tecnologías son cercanos al 100%, favoreciendo el atractivo de los coches eléctricos frente a los de combustión, con rendimientos bastante menores.

Uno de los problemas de las baterías reside en que el número de ciclos de carga y descarga que soportan es limitado, denominándose esta característica ciclo de vida de la batería.

El funcionamiento de las baterías empleadas actualmente en los vehículos eléctricos se basa en una reacción química denominada oxidación-reducción o redox, mediante el cual se produce una corriente eléctrica capaz de proporcionar energía al motor eléctrico que propulsará el coche. El proceso de recarga de la batería se produce principalmente empleando electricidad para producir una reacción química, es decir, a la inversa; a pesar de que se están desarrollando nuevos métodos más sofisticados para llevar a cabo esta tarea.

Dentro de los componentes básicos de las baterías, cabe destacar la presencia de un ánodo y un cátodo, entre los que se producirá la reacción química que dará lugar a la corriente eléctrica. El ánodo se oxida en esta reacción, transmitiendo electrones al cátodo, y produciéndose así la reacción redox. Ambos componentes están sumergidos en un electrolito que funciona como conductor eléctrico para favorecer la conducción. En el proceso de recarga, ánodo y cátodo se invierten, recuperando el primero de estos los electrones perdidos, para así poder proceder posteriormente de nuevo a la descarga de la batería y funcionamiento del vehículo.

En el ámbito de las baterías, y especialmente en el automovilístico, son importantes ciertos factores que marcan la calidad de la batería y que determinarán el precio no solo de ésta, sino del automóvil en el que se instalen (ELEC19).

La potencia es uno de los factores determinantes. Es la capacidad de proporcionar potencia al coche (traducido en amperaje máximo) durante el proceso de descarga de la batería. Su medida son los W/kg.

La eficiencia es otra de las características a tener en cuenta. Se mide en porcentaje y en las baterías de coches eléctricos alcanza porcentajes muy altos.

La densidad energética es otro de los factores importantes. Relaciona la energía que es capaz de aportar la batería por cada kilogramo de peso, siendo el peso algo determinante en los coches eléctricos. Este factor establecerá entre otras cosas la autonomía del vehículo y el peso de este. Se mide en Wh/kg.

Y por último se encuentra el ciclo de vida de la batería, mencionado anteriormente y el coste de la batería.

Respecto a los ciclos de vida, es evidente que a mayor ciclo más duradero será el equipo y por tanto será más deseable cuanto mayor ciclo presente.

A continuación, se presentan los distintos tipos de baterías que se encuentran actualmente en el mercado (IDAE19).

Batería de plomo-ácido. Es el tipo de batería más utilizada y la más antigua, aunque no es empleada en vehículos eléctricos debido a su excesivo peso, la toxicidad del plomo y su lenta recarga.

Batería níquel-cadmio. Uso bastante frecuente en la industria automovilística. Poseen efecto memoria, por lo que su capacidad se ve menguada con cada ciclo de recarga. Sus elementos presentan en su mayoría un alto coste de adquisición y presenta un buen rendimiento a bajas temperaturas.

Batería níquel-hierro. También denominadas baterías ferroníquel, no se emplean actualmente en vehículos debido a su escasa potencia y eficiencia.

Batería níquel-hidruro metálico. Son similares a las de níquel-cadmio, mejorando las prestaciones de estas. Reducen el efecto memoria y son menos agresivas con el medio ambiente. Su constante necesidad de mantenimiento, su deterioro en altas temperaturas, la excesiva generación de calor y su lenta recarga las hacen poco factibles para su uso en vehículos eléctricos.

Batería ion-litio (LiCoO₂). Tecnología de reciente aparición y todavía en desarrollo que presenta hoy en día la mejor alternativa a la hora de fabricar un vehículo eléctrico. Están formadas por un electrolito de sal de litio y electrodos de litio, cobalto y óxido. El uso de litio ha permitido, entre otras cosas, conseguir mejor eficiencia y alta energía específica, además de eliminar el efecto memoria y no necesitar mantenimiento alguno. Presentan mayor densidad energética que las baterías de níquel-cadmio, casi el doble y pueden llegar a ser hasta un tercio más pequeñas. Entre sus inconvenientes encontramos su alto coste de producción, su fragilidad y facilidad para explotar por sobrecalentamiento, además de cuidados especiales a la hora de ser almacenadas o transportadas.

Batería LiFePO₄. Similar a las anteriores. Al no incluir cobalto en su composición presenta mayor estabilidad y seguridad de uso. Presenta un mayor ciclo de vida y mayor potencia, mientras que su coste es elevado y tiene menor densidad energética que las baterías LiCoO₂.

Batería polímero de litio. De nuevo una variación de las baterías de ion-litio, presentan una potencia y densidad energética mayores. Carecen de efecto memoria y son ligeras y eficientes. Su alto coste y corto ciclo de vida hacen de ellas una opción poco frecuente.

Batería ZEBRA. Presentan un electrolito de cloroaluminato de sodio triturado. Son baterías de mayor componente químico que aporta características de potencia y energía interesantes, además del mayor ciclo de vida. Sus inconvenientes son el espacio que ocupan y su baja potencia.

Batería de aluminio-aire. Todavía en fase experimental y sin alta aceptación en el mercado. Son consideradas pilas de combustible, pues los electrodos de metal gastados deben ser sustituidos por unos nuevos. Su capacidad de almacenamiento es hasta diez veces superior a las baterías de ion-litio y presentan una densidad energética muy superior al resto de opciones. Sus problemas de recarga y baja fiabilidad son los motivos por los cuales su uso no está más extendido.

Batería zinc-aire. También en fase experimental, necesitan obtener oxígeno de la atmósfera para generar corriente eléctrica. Tienen alto potencial energético, además de poder almacenar hasta tres veces lo que una batería de ion-litio en el mismo espacio, con la mitad de coste. De alta fiabilidad.

Baterías de estado sólido (XATA18). Todavía en desarrollo, y aunque sea necesario esperar unos años para verlas comercializadas, las baterías de estado sólido aportan un elevado número de ventajas respecto a sus competidores.

El empleo de un electrolito sólido, en vez de el habitualmente empleado en estado líquido, permite no instalar separadores, evitando el problema habitual de corrosión.

Este tipo de baterías prácticamente duplican la densidad energética de las baterías de ion-litio, disminuyen su calentamiento y el riesgo de incendio queda anulado. Además, su recarga puede ser hasta seis veces más rápida y su vida útil es mayor.

Con la entrada en el mercado de este tipo de baterías a partir de la próxima década, se calcula que autonomías en torno a los 650 kilómetros podrían ser alcanzadas.

Baterías de electrolito repostable. Siendo una alternativa a las baterías convencionales. Este tipo de acumuladores fueron presentados por el MIT en 2011.

En lugar de enchufar el coche a un centro de carga para recargar la batería eléctrica, se vacían y se vuelven a rellenar dos depósitos que contienen electrolito ya cargado, que más adelante interactuarán a través de una membrana porosa, generándose la electricidad necesaria.

Este sistema es conocido como baterías de flujo o celdas semi-sólidas de flujo. De nuevo, el problema con este método, que ya permite alcanzar hasta 1000 kilómetros de autonomía, es la falta de infraestructura de recarga, además del peso de los depósitos que deberían ir incluidos en el vehículo.

Lo que queda claro con la aparición y desarrollo de estos tipos de acumuladores de energía es que el vehículo eléctrico es hoy en día la alternativa más atractiva frente al vehículo de combustión tradicional. El avance y la mejora de las baterías permitirá en pocos años alcanzar autonomías muy elevadas, además de potencias que poco tendrán que envidiar a las de los coches de diésel o gasolina. Esto, acompañado de la instalación de una red de infraestructura de recarga fiable, propiciará la revolución automovilística, tan necesaria a nivel mundial.

2.2- Hipótesis de trabajo

La falta de datos fiables sobre el número actual de vehículos eléctricos en España y la dificultad que conlleva prever cuántos de estos vehículos estarán en circulación en los próximos años, ha obligado a la asunción de diversas hipótesis a la hora de realizar este programa, simplificando significativamente el cálculo.

La **estimación de la distribución de la autonomía** que seguirán en el futuro los vehículos eléctricos ha sido el mayor de los retos encontrados.

A diferencia de los coches de combustión convencionales, la autonomía es un parámetro más que relevante a la hora de escoger un vehículo eléctrico. La dificultad en su cálculo se debe principalmente a que la capacidad de la batería no siempre se relaciona de manera lineal con la autonomía del vehículo, sino que otros parámetros como la potencia del coche también guardan relación con la capacidad energética del automóvil. Estas tres características cobran ahora especial relevancia, tras la irrupción de este tipo de vehículos en el mercado.

Al ser el número de automóviles eléctricos reducido hoy en día en el mercado, se ha optado por calcular una distribución de autonomía lo más realista posible para los años 2016 a 2018, aprovechando la cantidad

de datos recogidos al respecto. Empleando valores estadísticos obtenidos de distintos estudios, llevados a cabo por empresas del sector, se ha calculado la distribución que seguiría el parque automovilístico actual (IDAE19), (ANFA17).

Recogida y analizada la información, la distribución de autonomías ha sido calculada dividiendo el espectro en tramos de 20 kilómetros de rango.

Una vez dividido el espectro en estos tramos, los vehículos se reparten convenientemente en función de su rango de autonomía y se calcula el porcentaje de la flota total que representa cada uno de estos grupos.

Estos resultados serán empleados posteriormente para el cálculo de los estacionamientos en cada tramo de la autovía estudiada. Se asumirá para esto que cada muestra de coches estudiada sigue la distribución calculada para el año que se estudia.

Los resultados obtenidos para los años 2016 a 2018 se presentan a continuación. Los tramos en los que se divide el espectro de autonomía son siempre los mismos, variando por tanto a medida que transcurren los años el porcentaje de vehículos que se incluye en cada uno de esos tramos.

De alcanzarse valores superiores al último tramo en años posteriores, se podría bien añadir nuevos tramos al cálculo, modificando ligeramente el programa, o incluir estos en el último tramo, siendo este un cálculo aproximado y que por tanto no se verá gravemente afectado por simplificaciones de este estilo.

Para los años posteriores, de los cuales no hay datos ni se han encontrado estimaciones suficientemente fiables, se opta por modificar los datos recogidos para el último año del que se encontraron registros, en este caso 2018.

La modificación que se ha llevado a cabo tiene efecto sobre el número de coches que configura el parque automovilístico cada año, viéndose por tanto modificado también el porcentaje de vehículos perteneciente a cada tramo.

Además, al ser el desarrollo esperado diferente para cada uno de los escenarios planteados, las modificaciones llevadas a cabo son diferentes para cada uno de los tres. El porcentaje de automóviles con mayor rango de autonomía en los últimos años del estudio es por tanto mayor en el escenario TEC Rápido, significativamente menor en el TEC y el mínimo de los tres en el escenario PA, atendiendo al nivel de desarrollo del coche eléctrico en cada uno de ellos.

Para cada año se opta por modificar el número de vehículos pertenecientes a cada uno de los tramos de autonomía, a partir de los datos obtenidos para 2018. Las modificaciones, como se ha explicado, son distintas para cada modelo, siendo el aumento de vehículos para cada uno de los tramos el doble en el escenario TEC y el triple en el TEC Rápido con respecto al aumento llevado a cabo en el escenario PA.

Este mismo aumento se ha repetido de la misma forma para cada uno de los años, siendo por tanto el incremento siempre igual, y la flota total de vehículos superior cada año. Los datos de número de coches pertenecientes al parque de vehículos no atienden a las predicciones calculadas posteriormente en el

programa, sino que al ser el dato relevante el porcentaje incluido en cada tramo se ha optado por realizar incrementos de la flota sin atender al cómputo global de esta.

El incremento de la flota llevado a cabo anualmente en cada uno de los tres escenarios se recoge en la *Figura 9*. Mayor detalle sobre las cifras empleadas se puede encontrar en el *Anexo I*.

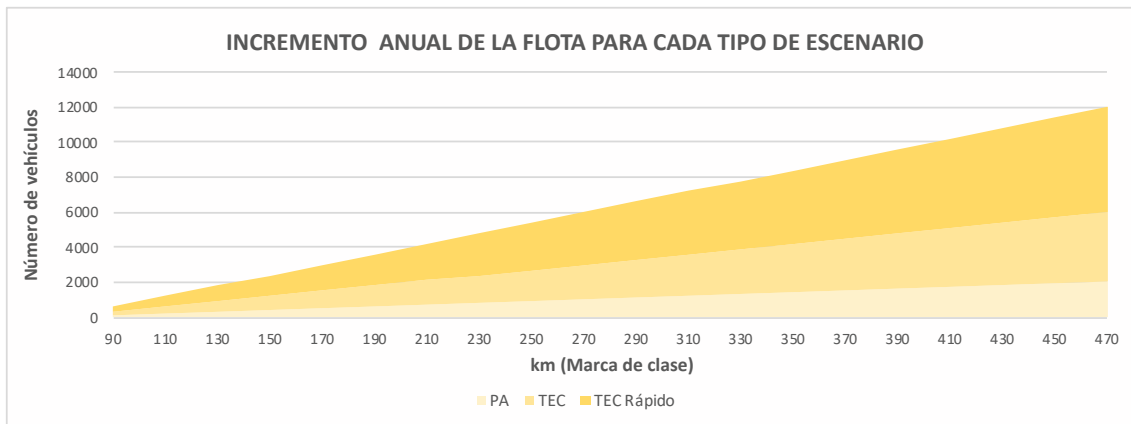


Figura 9. Incremento anual de la flota

Una vez se ha obtenido para cada año el número de coches que pertenecen a cada tramo en cada uno de los escenarios, se procede al cálculo de los porcentajes de la flota total que conforman cada uno de los rangos. De esta forma se obtienen las distribuciones que más adelante serán empleadas para el cálculo.

Como se puede apreciar en las gráficas a continuación, las modificaciones llevadas a cabo para la estimación tienden a disminuir los picos de la curva de distribución, acercando su forma a una pendiente con porcentajes superiores cada año en los últimos tramos.

La evolución de la distribución de autonomía para cada escenario se presenta a continuación en unas gráficas para clarificar su evolución a lo largo de los años.

Se pretende recalcar de esta forma la diferencia entre los tres escenarios y entender el método empleado para obtención de los resultados buscados.

Los datos empleados para estos cálculos se recogen en el *Anexo I*.

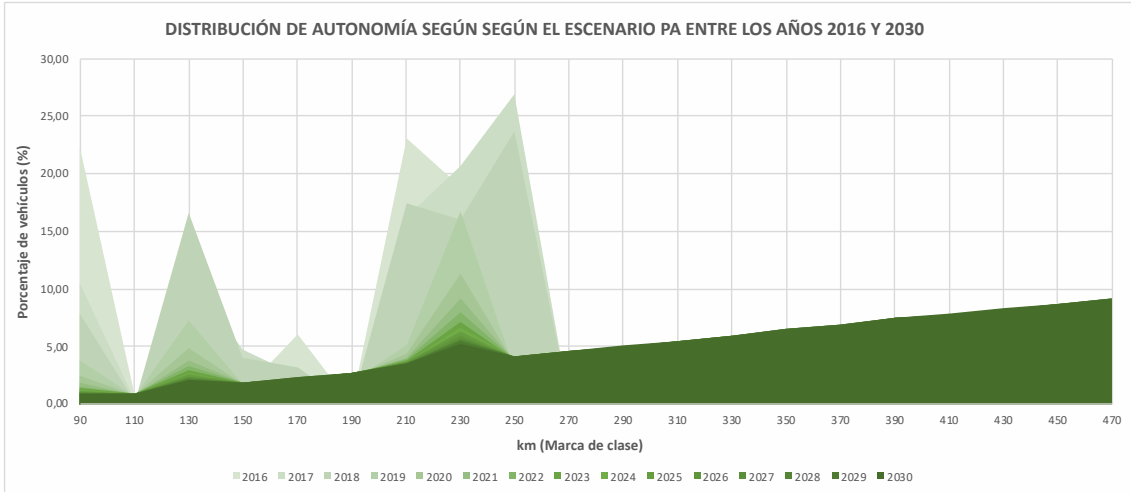


Figura 10. Evolución del espectro de autonomía para el escenario PA

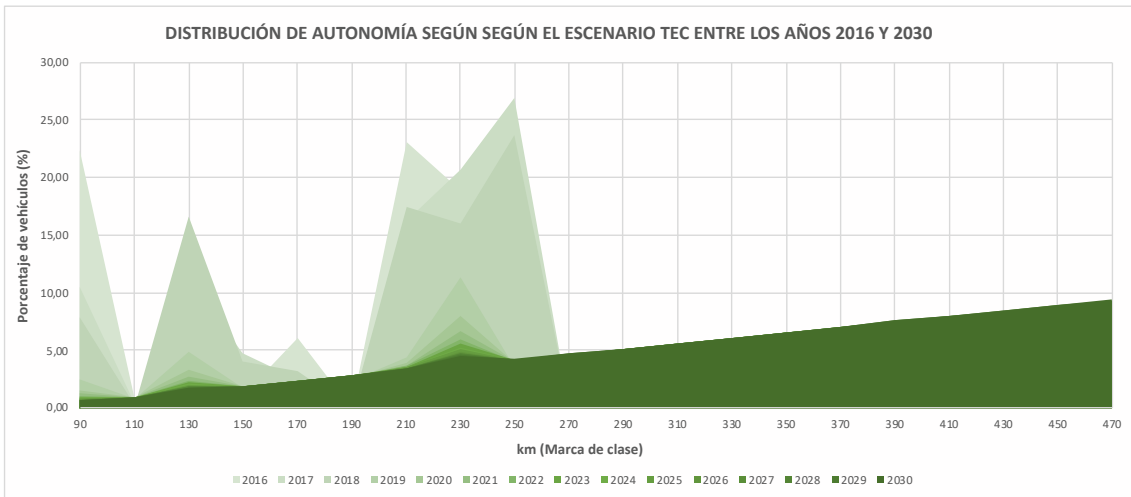


Figura 11. Evolución del espectro de autonomía para el escenario TEC

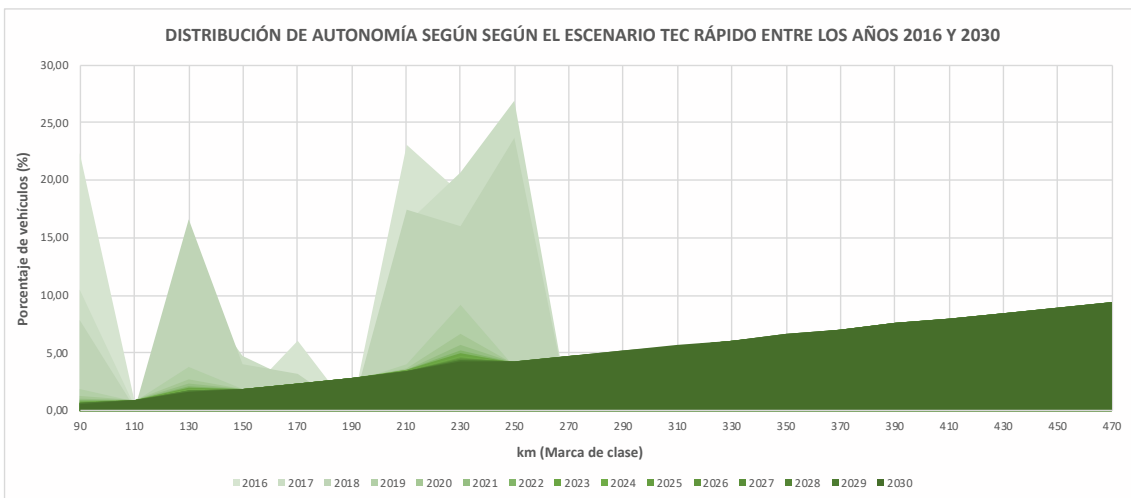


Figura 12. Evolución del espectro de autonomía para el escenario TEC Rápido

Como se puede comprobar en las gráficas, la distribución de autonomía es ligeramente distinta para cada uno de los escenarios. Son los porcentajes los que varían dependiendo de qué escenario se haya escogido, siendo como se ha explicado antes, superiores en los últimos tramos aquellos pertenecientes a los escenarios más optimistas en referencia al desarrollo de los vehículos eléctricos.

Estas diferencias se verán incrementadas tras el cálculo de estacionamientos y el de carga requerida, quedando más claras por tanto las diferencias entre los tres escenarios.

Al ser el cálculo empleado para la estimación activo, los valores iniciales se podrán modificar, así como los incrementos empleados para cada uno de los escenarios de manera sencilla. De esta forma se pretende que, en el futuro, de ser necesario, valores más precisos referentes a la evolución del parque de vehículos puedan ser introducidos, mejorando las predicciones de futuro.

La **estimación de la batería de los vehículos eléctricos** se lleva a cabo siguiendo un procedimiento parecido a la autonomía de estos.

A pesar de que las baterías no guardan una relación lineal con la autonomía de los coches, pues aparecen otros factores determinantes en este ámbito como la potencia, sí es verdad que, a mayor capacidad del acumulador y mayor tamaño de este, más elevada será a su vez la autonomía que el vehículo presente.

Tras el estudio del mercado actual de las baterías, se opta, ante la amplia gama y el amplio espectro de energía que son capaces de acumular, por llevar a cabo una estimación aproximada de la capacidad de las baterías de los vehículos, asociando un valor de esta para cada rango de autonomía. Es decir, para simplificar el proceso, se asume que la capacidad de la batería de cada vehículo va asociada a la autonomía que ofrece.

Una vez asumido esto, se procede en primera estancia al cálculo de las capacidades promedio para cada uno de los rangos de autonomía. Para esto se emplean los datos recogidos pertenecientes al parque automovilístico del año 2018 (IDAE19), (MOTO19).

Por último, valores de capacidad de las baterías son estimados valiéndose de los resultados anteriores. El espectro resultante será por tanto lineal y proporcional al rango de autonomía del vehículo. Los resultados obtenidos, tanto para el cálculo real de las capacidades de las baterías como para la estimación, aparece representada en la *Figura 13*. Los valores aparecen recogidos en el *Anexo I*.

Como se vio anteriormente, la investigación acerca de distintos acumuladores energéticos está en pleno auge, y cada año aparecen nuevas tecnologías que prometen aumentar las capacidades de las baterías reduciendo sus tamaños y aumentando la autonomía y potencia de los automóviles.

Se considera por tanto el espectro obtenido de carácter provisional, y podrá ser modificado posteriormente, llevando a cabo de ser necesario un cálculo similar al de autonomía empleado en este mismo estudio, para obtener de esta forma un espectro más realista.

Los valores estimados son los empleados en el cálculo llevado a cabo para el caso estudio, que se desarrolla en el *Capítulo 3*.

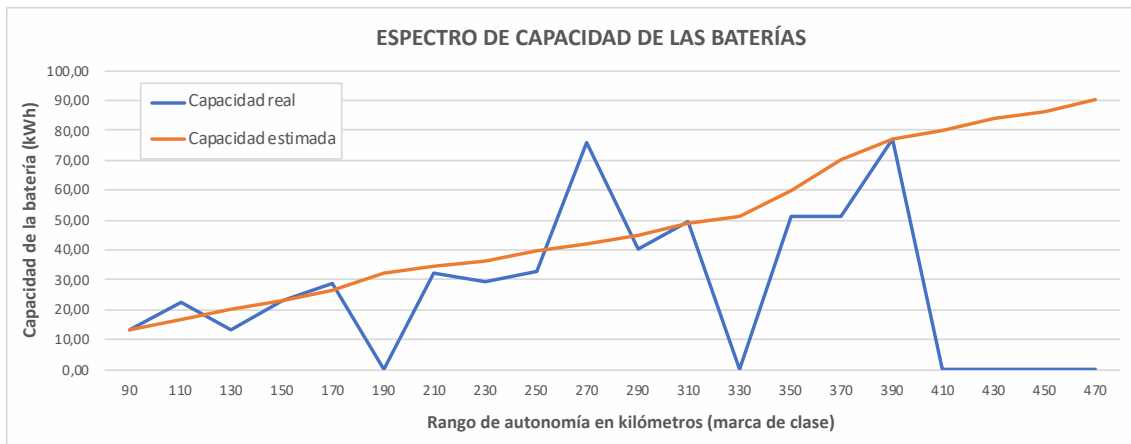


Figura 13. Estimación del rango de capacidades de las baterías

La **estimación del número de vehículos totales y eléctricos** que estarán en circulación en los próximos años en España es un tema controvertido y son muchos los datos y estudios que presentan cifras, muchas veces dispares en referencia al asunto.

Para este trabajo se extrae información del análisis llevado a cabo por Cambridge Econometrics (CAMB18). Aquí es donde se presentan los tres escenarios empleados en este proyecto y es a partir de su modelo macroeconómico E3ME de donde se obtienen los valores empleados tanto para número de automóviles totales, como de combustión y eléctricos para los años 2018 a 2050.

Valores relativos a otro tipo de vehículos que emplean combustibles alternativos también pueden ser encontrados en este estudio, pero se omite su presencia debido a la falta de solidez en el desarrollo de sus tecnologías o al hecho de que estas se distancian del objetivo de este trabajo.

Por otro lado, los valores presentados para los años 2013 a 2018 referentes al número de vehículos eléctricos se obtienen del estudio europeo llevado a cabo por el EAFO (European Observatory of Alternative Fuels) (EAFO19) para el año 2019 en el que se presenta el número de vehículos BEV que forman parte del parque español en esos años.

Los valores de automóviles totales y de combustión entre 2013 y 2018 se extraen de la base de datos de la DGT (DGT_19).

A continuación, se presentan en diferentes tablas la evolución prevista de estas tres secciones entre los años 2013 a 2050 para cada uno de los escenarios presentados en el estudio. Los datos numéricos se recogen la *Tabla 8* en el *Anexo I*.

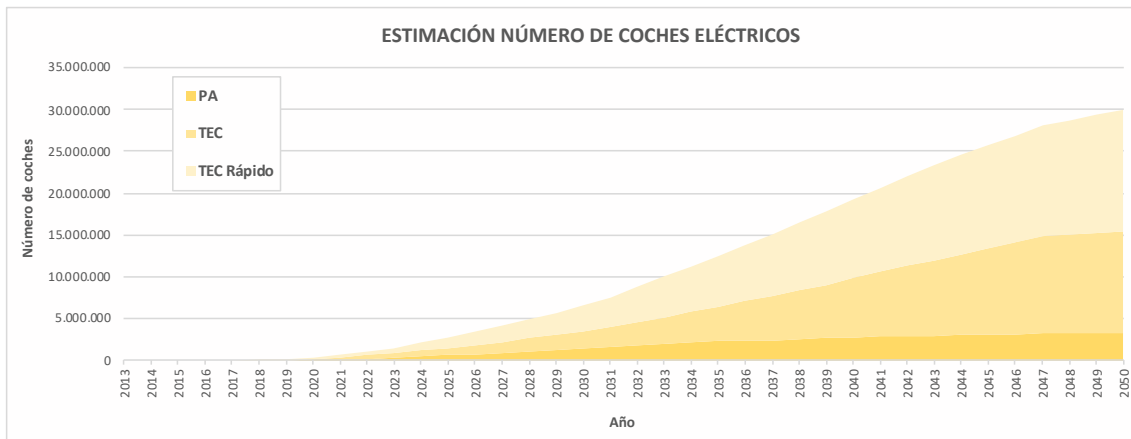


Figura 14. Estimación del número de vehículos eléctricos para cada escenario

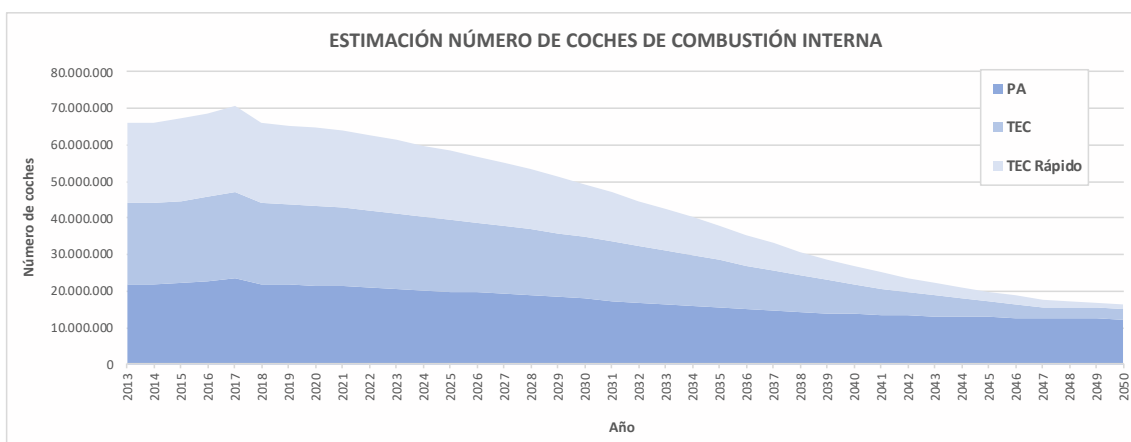


Figura 15. Estimación del número de vehículos de combustión para cada escenario

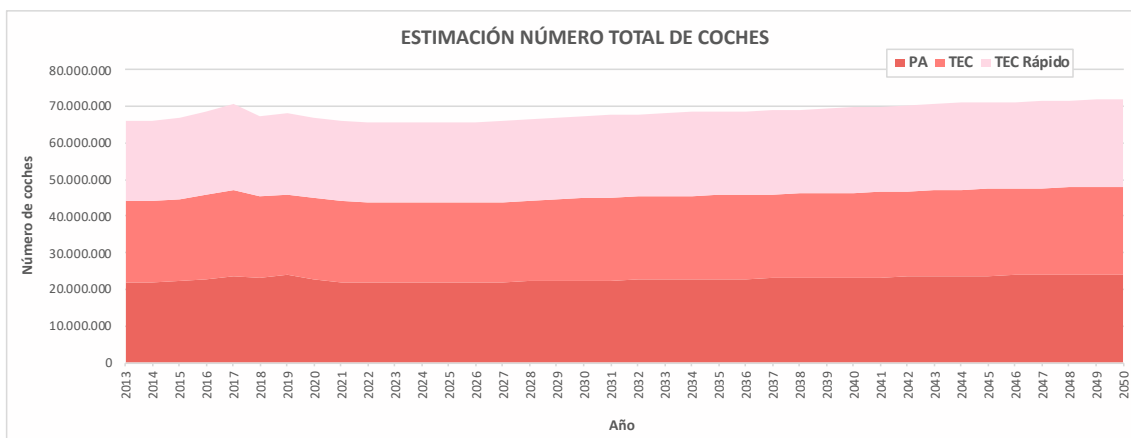


Figura 16. Estimación del número de vehículos totales para cada escenario

La última hipótesis empleada en el programa es el **número de vehículos eléctricos que circulan por cada tramo de la autovía** estudiada diariamente.

Al desconocer el número de coches que estarán en circulación en el futuro, y tampoco cuántos de estos automóviles serán eléctricos, se llevan a cabo estimaciones para el cálculo aproximado de estos valores.

Para desarrollar esta tarea se emplea un dato aportado por la DGT y de gran utilidad en el ámbito del estudio del tráfico. Este es el IMD (Índice Medio Diario [vehículos/día]), que recoge la cantidad de vehículos que atraviesan de media un punto kilométrico cada día. La DGT ofrece registros anuales de estos valores, recogidos en las estaciones de control de tráfico permanentes en cada una de las principales carreteras españolas (FOME19).

Ayudándose del número de coches totales y cuántos de ellos serán eléctricos se desarrolla el cálculo aproximado para cada año. Como resultado se obtienen los valores diarios de número de coches eléctricos que circulan de media cada día por cada uno de los tramos de la autovía estudiada. Este método permite obtener un cálculo aproximado de la evolución del IMD de vehículos eléctricos para cualquier carretera de la que tengamos los datos de partida.

Los valores estimados tanto para número de vehículos totales como eléctricos en la autovía estudiado en el caso estudio desarrollado en el capítulo siguiente se recogen en la *Tabla 9* y la *Tabla 10*.

Este dato del IMD es corregido posteriormente para el cálculo del acumulado anual de estacionamientos y necesidad energética. Al ser los datos de IMD valores promedio anuales, una mejor aproximación se puede llevar a cabo corrigiéndolos para las distintas semanas del año. Estos datos se extraen de un registro en el que se recoge, para cada semana del año, la corrección pertinente, en este caso para una autovía nacional. Esta corrección aparece representada en la Figura 19.

2.3- Funcionamiento del programa

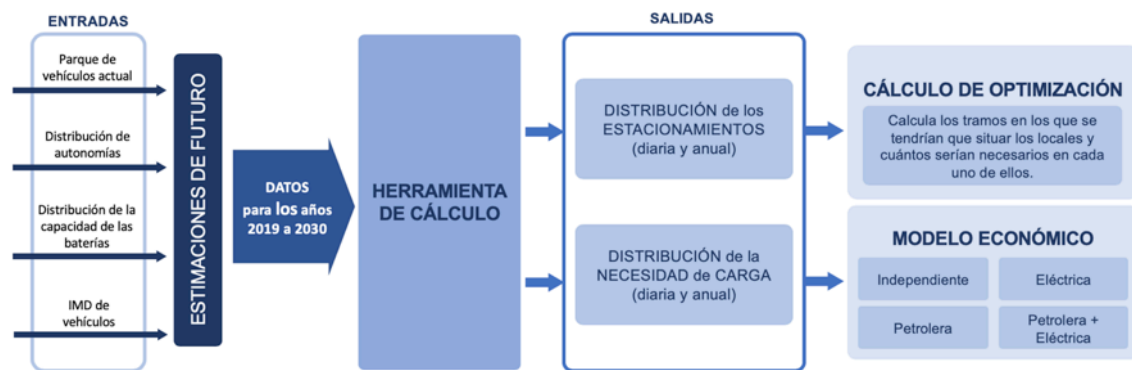


Figura 17. Esquema del funcionamiento del programa

2.3.1- Herramienta de cálculo

La herramienta desarrollada calcula el número de estacionamientos para repostaje en cada tramo de la carretera y la energía que será necesaria aportar para su abastecimiento cada año, con la posibilidad de elegir uno de los tres escenarios y el año en el que se realizará la estimación. Una vez obtenidas las distribuciones de los estacionamientos y de la necesidad de carga a lo largo de la carretera estudiada, se emplean estos resultados para llevar a cabo un cálculo de optimización que indique en qué tramos es de

mayor conveniencia colocar las electrolineras y cuantas, además de un estudio económico en el que cuatro modelos de negocio distintos serán estudiados.

El punto de partida es la distribución de vehículos a lo largo de la autovía, que se obtiene indicando el IMD (Índice Medio Diario, indicado como número de vehículos que circulan por un punto al día de media) en cada tramo. Para esto, como se ha indicado en las hipótesis de trabajo, los primeros años los datos son extraídos del portal de la DGT y los años siguientes son estimados a partir de estos valores, valiéndose para ello de las predicciones del tamaño del parque de vehículos en el futuro.

Una vez obtenidos estos datos y por tanto quedando definido cuántos coches circularán de media cada día por cada uno de los tramos de la carretera, se procede a diferenciar estos tramos kilométricos en dos categorías, los tramos considerados de entrada de coches y los de salida de estos. Para esta distinción, se imagina que nuestra autovía transcurre entre los kilómetros 0 al 360, como en el caso estudio planteado más adelante en este trabajo. La longitud de la carretera es dividida en tramos de 20 kilómetros, lo que supone 18 tramos que serán clasificados como se indica a continuación.

Para cada uno de los tramos estudiados, se comprueba si el IMD es superior o inferior al correspondiente al tramo anterior. De ser el del tramo estudiado inferior, se asume que ha habido un grupo de coches que han abandonado la carretera en ese tramo. Esto supone por tanto la clasificación de este tramo como uno de salida. De ser por el contrario el IMD del tramo estudiado superior al del tramo anterior, se considera que hay un número de automóviles que se han incorporado a la autovía en ese tramo, lo que implica su asignación al grupo de entradas.

Mediante esta distinción, se presenta a su vez dos métodos de cálculo en función del grupo al que pertenezca cada tramo. Cada uno de estos cálculos atiende a una simplificación que permite estudiar el tráfico de vehículos analizando su recorrido y de esta forma, teniendo en cuenta su autonomía, deducir dónde pararán a repostar de forma sencilla.

Para los tramos de salida, se calcula el número de coches pertenecientes a ese tramo como la diferencia entre el IMD del tramo anterior menos el del tramo actual, es decir, los coches adicionales que se han incorporado de media en ese tramo con respecto al anterior. Se considera que los coches pertenecientes a los tramos de salida comienzan su trayecto en el origen (kilómetro 0) y continúan hasta el final de del tramo estudiado. Si por ejemplo se analiza el comportamiento del tramo entre los kilómetros 60 y 80 de la autovía, siendo este un tramo de salida, los coches pertenecientes a este tramo se estima que llevaron a cabo el trayecto desde el kilómetro 0 hasta el 80, abandonando la autovía en este punto. De esta forma, si en la distancia recorrida se necesita llevar a cabo una parada para repostar, esta es debidamente indicada. De no ser así, se considera que ésta se lleva a cabo en otra vía, y al no ser ésta el objeto del estudio no aparece indicada en el programa.

Por el contrario, para los tramos de entrada, cuyo número de coches se calcula restando al IMD del tramo actual el del tramo anterior, se lleva a cabo una aproximación similar a la de los tramos de salida. En este caso se asume que los coches de este tramo iniciaron su recorrido en el punto inicial del tramo que está

siendo estudiado (es decir, se incorporaron a la autovía en ese punto), y continúan hasta el final del recorrido de la carretera. Por ejemplo, si se estuviese estudiando el tramo comprendido entre los kilómetros 100 y 120, en este caso de entrada, se supone que estos coches se incorporan a la autovía estudiada en el kilómetro 100 y prolongan su trayecto hasta el 360, es decir, hasta el final de la autopista. De nuevo, de ser necesario parar a repostar en algún punto de este trayecto, la parada es debidamente indicada, teniéndose en cuenta para los cálculos posteriores.

A estos dos grupos se debe añadir una franja neutra, cuyo número de vehículos viene marcado por el punto con menor valor de IMD en el recorrido (que sería el punto más bajo de la gráfica a continuación). Estos automóviles se da por hecho que realizan el trayecto de principio a fin de la carretera, es decir, entre los kilómetros 0 y 360 en el ejemplo planteado, de nuevo realizando las paradas pertinentes.

Lo que se pretende con este método es dividir la gráfica del IMD en cada punto de la autovía en subgrupos, permitiendo de esta forma analizar de forma sencilla qué recorrido llevan a cabo los coches de cada uno de estos grupos. Una vez definido esto y aplicando la distribución de autonomía calculada, se puede calcular en qué puntos se realizan las paradas para repostaje.

Para visualizar el proceso de manera más sencilla se incluye a continuación la gráfica que recoge el IMD de vehículos eléctricos para cada tramo de una autovía. En el *Anexo II* se incluyen los datos de la asignación recogidos en dos tablas. Ambas recogen la clasificación de los tramos, así como del cálculo del número de coches (de media) que forman parte de cada uno de estos grupos, la primera en el sentido salida (Madrid – Valencia) y la segunda en el sentido contrario. Estos son los cálculos llevados a cabo para el caso estudio presentado en el siguiente apartado (Autovía Nacional A3).

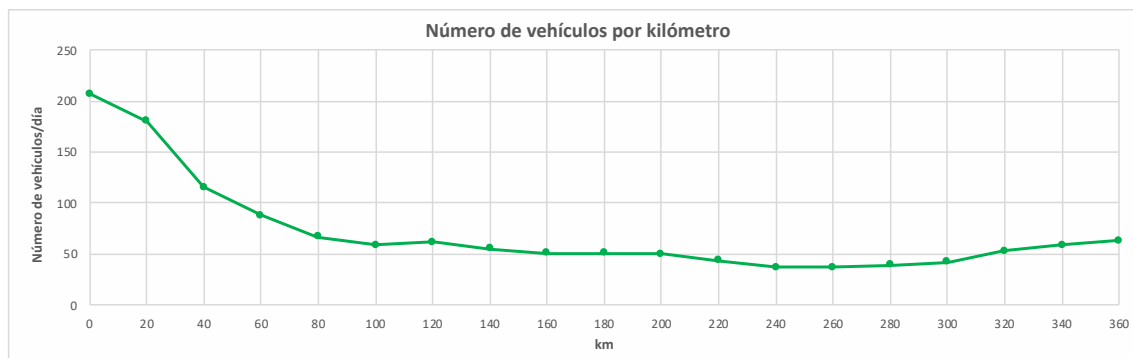


Figura 18. Gráfica del número de vehículos eléctricos circulando por cada tramo, para el año y el escenario escogido

En la tabla se indica el IMD de cada tramo, seguido en la siguiente fila por la variación de este respecto al tramo anterior. Este es el número de coches que se supone que circulan de media al día por cada uno de los tramos (número de vehículos/día). Por último, se incluye la clasificación entre tramos de salida (S), de entrada (E) y la franja neutra (N), además de aquellos tramos en los que el IMD no se ha visto modificado desde el tramo anterior y que por tanto no aportan datos al cálculo (indicados con un 0).

Una vez se ha concluido la asignación, se realiza el mismo proceso, esta vez en el sentido contrario de circulación. Se toma entonces el punto de partida (origen) en el kilómetro 360 y el final de la autovía en el kilómetro 0 en el ejemplo presentado y se repite el mismo proceso.

Para no duplicar el número de vehículos, los cálculos se realizan contando con el 50% del IMD circulando en cada sentido. Esto no deja de ser una aproximación, y de requerirse mayor detalle sería necesario un estudio específico de los flujos de tráfico en la autovía estudiada. Al no ser este el caso, se considera que los mismos coches circulan en ambos sentidos de la carretera.

Para mayor semejanza con la realidad, en el cálculo se permite indicar el porcentaje de batería con el que los coches pararán a repostar, estando este fijado en 80% para los cálculos que se indican en el caso estudio.

Esto se debe a que en la mayoría de los casos los vehículos no apuran la batería hasta el final y a que, además, los coches en recorridos de larga distancia y debido a rozamientos, aumento del peso debido a equipajes y demás taras, reducen considerablemente su autonomía.

Además, la inconsistencia de la red infraestructura de recarga en los primeros años hace muy arriesgado intentar apurar la autonomía del automóvil, siendo más difícil encontrar una electrolinería que una gasolinera convencional para repostar.

Una vez se han clasificado los tramos y los vehículos que pertenecen a cada uno de los grupos, se procede al cálculo de los estacionamientos y de la energía requerida para la recarga.

Para esto, se calcula para cada grupo, en función del recorrido que llevarán a cabo (que variará dependiendo de si el tramo es de entrada o de salida) y valiéndose de la distribución de autonomías, en qué tramos de la carretera se efectúan las paradas para repostaje, cuántos coches lo hacen en cada uno y cuánta energía es necesaria para repostar.

Se presenta en este punto un inconveniente. En los casos en los que la autonomía sea menor que la longitud de la carretera y se recorra distancia suficiente para necesitar repostar más de una vez a lo largo del recorrido, se necesita llevar a cabo una modificación para el cálculo de las segundas y terceras paradas.

El primer estacionamiento se calcula como se ha estado haciendo hasta ahora. Sin embargo, para la segunda parada, el tramo en el que se realiza se habrá visto duplicado, teniendo que repartirse los vehículos que paran de forma equitativa, es decir, la mitad de ellos en cada uno de los tramos.

El mismo proceso tiene que seguirse para la tercera parada. De producirse esta, el tramo de estacionamiento tendrá el triple de longitud, en nuestro caso 60 kilómetros, y el número de coches que paran deberá ser de nuevo equitativo, así que se considera que estacionarán un tercio de los coches correspondientes al grupo en cada uno de los tres posibles tramos.

Se pone por ejemplo que el coche estudiado tiene un rango de autonomía entre 20 y 40 kilómetros. Esto significa que, de recorrer por ejemplo 120 kilómetros, deben realizarse varias paradas para repostaje.

La primera es sin duda en el tramo entre los kilómetros 20 y 40, pero la segunda, debe sin embargo realizarse entre los kilómetros 40 y 60, siendo esta longitud la correspondiente a dos tramos de división y no uno

como en el cálculo de la primera parada. Esto es debido a que la incertidumbre de dónde se lleva a cabo la primera parada provoca que el rango de autonomía puede ser aplicado tanto desde el kilómetro 20 de haberse producido la parada allí, como desde el 40, siendo estos los límites. Pudiendo además llevarse a cabo también en cualquiera de los puntos intermedios. De esta forma, se duplica la longitud del tramo en el que se realiza la segunda parada.

De igual forma, se comprueba que el tercer estacionamiento se debe llevar a cabo en un tramo de longitud tres veces la del tramo de la parada inicial. En este ejemplo, se realiza entre los kilómetros 60 y 120 de la carretera.

El proceso de asignación explicado, junto con la modificación en el cálculo para la correcta asignación de segundas y terceras paradas se repite para todos los tramos de entradas, salidas y la franja neutra. Una vez se termina, se procede a realizar el mismo cálculo en sentido contrario, es decir, del kilómetro 360 al 0 en el caso estudio, como se explica anteriormente.

En el Anexo II se presentan dos tablas en las que se incluyen ejemplos del cálculo de estacionamientos y de demanda de energía para la recarga para tres tipos distintos de grupos, uno de entrada (E), otro de salida (S) y un último de franja neutra (N). Se pretende de esta forma clarificar el método empleado y las diferencias entre cada uno de los tres grupos de coches generados.

Las tablas con los ejemplos incluidas en los anexos son la Tabla 12 y la Tabla 13. Como se puede comprobar, en las filas en las que se asignan paradas en más de un tramo, se debe a que la autonomía de los coches es insuficiente para realizar una única parada para repostaje a lo largo de su recorrido.

Para cada uno de los tramos estudiados se presenta la información en un cuadro en el que se incluyen por ese orden, el tipo de tramo, los coches que se asume que circulan por este, el inicio y final del tramo y por último el número de paradas que se realizan en cada uno de los tramos de la carretera.

La diferencia entre el cálculo de estacionamientos y el de energía requerida para el repostaje reside en que en el de la energía, el número de coches que estacionan en cada tramo se multiplica por la capacidad de la batería asociada a esa autonomía.

Se emplea una vez más el factor utilizado en el cálculo de la autonomía de los coches, de nuevo del 80%, que indica que no se emplea toda la batería del automóvil.

Una vez se calculan las paradas y la carga necesaria, se obtiene el acumulado de estacionamientos para cada tramo de la carretera, además del total de carga necesaria en cada uno de ellos.

Más adelante, con ayuda de las modificaciones del IMD para cada semana del año, se calcula el acumulado anual, que es el dato empleado en el estudio económico posterior.

Esta modificación de los datos de IMD se obtiene de una gráfica reproducida en la Figura 19, perteneciente al documento Especialidad gestión del tráfico de la DGT (TOMA14).

Esta gráfica se emplea para corregir el IMD, de forma que, en ciertas semanas del año, como por ejemplo en las pertenecientes al periodo estival, el IMD calculado debe incrementarse en un porcentaje que se indica

en la tabla. De la misma forma, en las primeras y últimas semanas del año, al ser la afluencia de coches menor, el IMD es reducido.

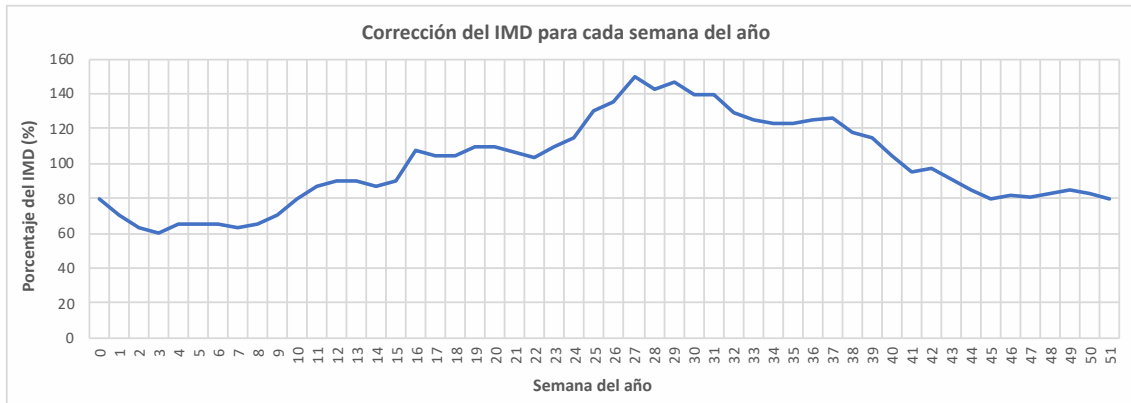


Figura 19. Gráfica de corrección del IMD para cada semana del año

Con los datos diarios y anuales obtenidos, se presentan las tablas y gráficos en los que se recoge el número de paradas y la carga necesaria en cada tramo tanto diaria como el acumulado anual, además de la aportación que se realiza en el sentido de entrada (en nuestro caso del kilómetro 0 al 360) y en el de salida, para clarificar los resultados.

A continuación, se procede al cálculo de optimización para obtener el número de locales que sería necesario instalar y en qué tramos kilométricos es más conveniente situarlos.

2.3.2- Cálculo de optimización

Para este cálculo, es necesario indicar el porcentaje de la demanda energética total que se desea cubrir y la capacidad energética anual que es capaz de suministrar cada local.

Con estos dos datos y los valores obtenidos anteriormente se lleva a cabo un problema de minimización, en el que, mediante variables binarias asociadas a cada tramo, se calcula minimizando el número de locales, cuántos y dónde deberían situarse para alcanzar el porcentaje de demanda cubierta que se ha indicado.

En un primer cálculo solo se indica en qué tramos hay que situar electrolinerías, es decir, es cada uno de los tramos estudiados a los que se le asigna la variable binaria, eligiendo por tanto el mínimo número de tramos con el que se podría cubrir la demanda indicada. Más adelante, con el dato de capacidad que es capaz de aportar cada local, se calcula en cada uno de estos tramos cuántas electrolinerías habría que situar.

Los resultados son presentados en una tabla en la que se indican los tramos en los que se deberían situar los locales y cuántos en cada uno de ellos.

Aun así, la elección final de dónde es conveniente instalar las electrolinerías queda a cargo del usuario, sirviendo este cálculo como recomendación de las zonas de la autovía con mayor afluencia de vehículos y mayor necesidad de refuerzo de infraestructura de repostaje.

2.3.3- Modelo económico

Una vez se han calculado los locales que son necesarios colocar y en qué zonas de la autovía, se procede en última estancia al cálculo económico pertinente.

En este estudio se plantean cuatro modelos económicos diferentes cuyas características son desarrolladas más adelante.

Para llevar a cabo el estudio de cada uno de estos modelos, se procede primero a la agrupación de los resultados obtenidos para cada uno de los tres escenarios presentados.

El programa desarrollado emplea una macro para ejecutar repetidas veces el cálculo llevado a cabo por la herramienta explicada en el apartado anterior, acumulando los resultados para cada uno de los años en una tabla.

Las tablas para cada uno de los escenarios se encuentran incluidas en el *Anexo II*. Además, en las figuras a continuación se representa la progresión de la demanda de carga para cada uno de los años en cada uno de los tres escenarios.

En la tabla que se emplea en el cálculo se incluye el total de kWh requeridos en cada uno de los tramos para todos los años estudiados, además del promedio por año y por último el número de locales que se recomienda situar en ese tramo, en función de la capacidad energética que es capaz de aportar cada local.

Para el correcto funcionamiento de este programa, el usuario deberá introducir una serie de datos, en función de los cuales se lleva a cabo el cálculo.

Estos parámetros son el escenario del que se obtienen los resultados, el coste de la compra de energía y el margen de beneficio, ambos en €/MWh, la marca de clase del tramo en el que se colocará el local del que se realizará el estudio económico y por último cuántos locales habrá situados en ese tramo. Con este último dato se indica entre cuántos establecimientos se reparte la demanda total del tramo escogido.

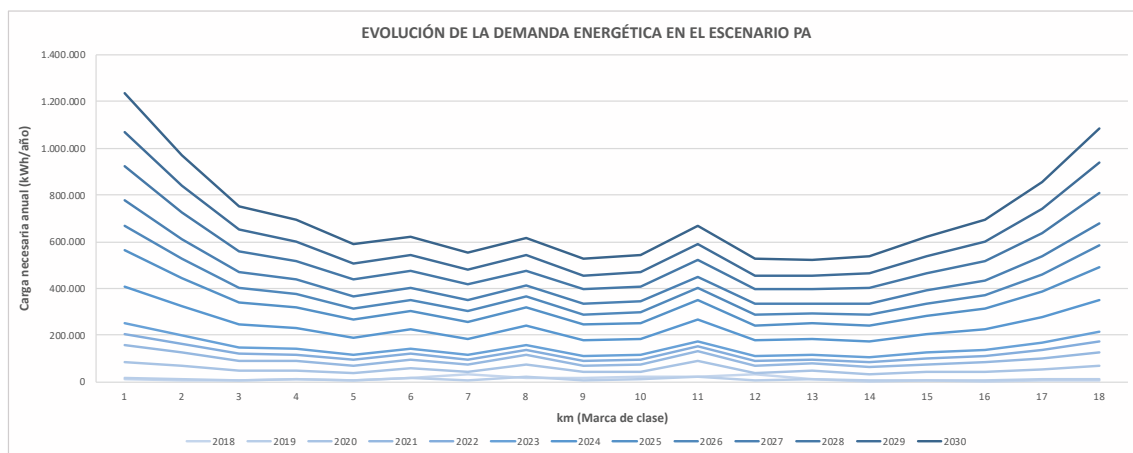


Figura 20. Evolución anual de la demanda energética en el escenario PA

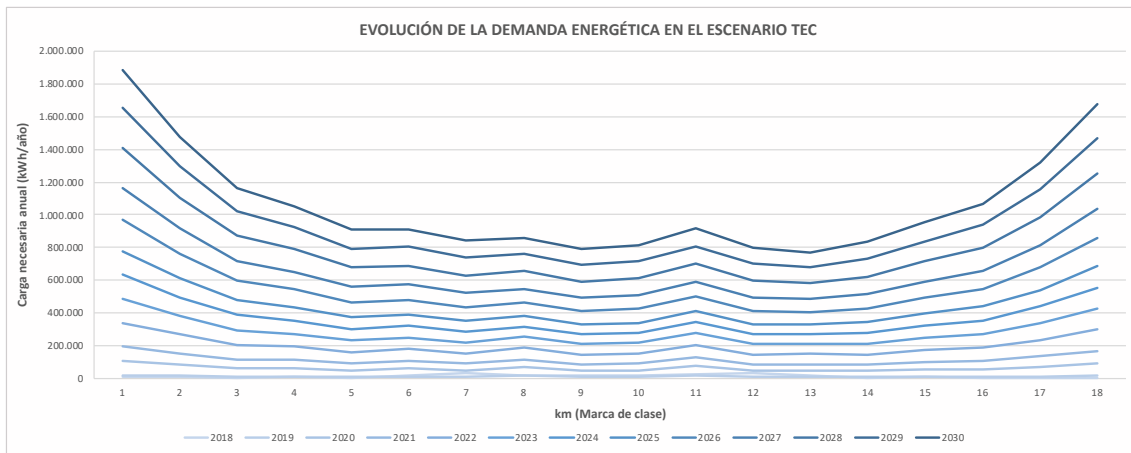


Figura 21. Evolución anual de la demanda energética en el escenario TEC

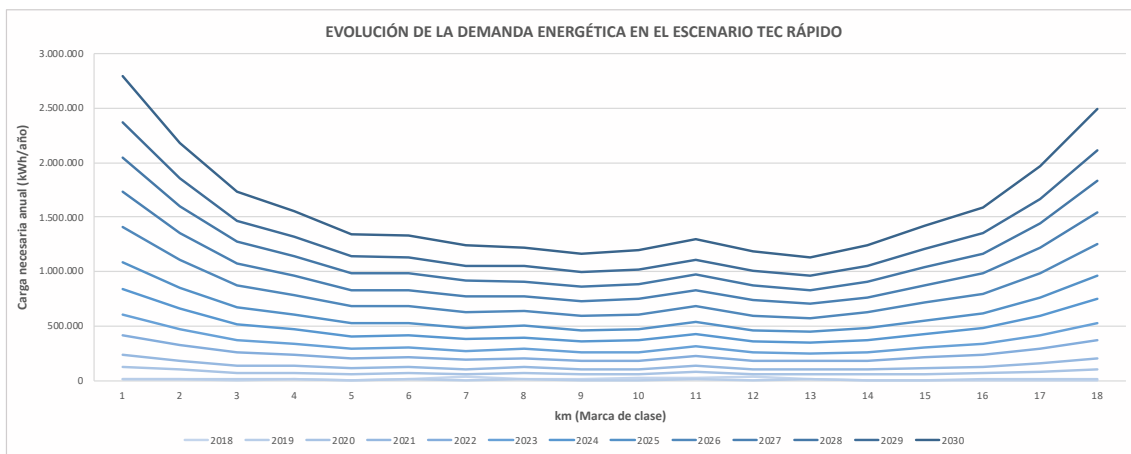


Figura 22. Evolución anual de la demanda energética en el escenario TEC Rápido

Son dos las razones por las que se presenta la información en forma de tabla en el programa. La primera es que permite calcular de manera sencilla en cuáles de los tramos de la autovía estudiada es mayor la necesidad de carga a lo largo de los años en los que se desarrolla el cálculo. Esto podría ser determinante a la hora de elegir en qué tramo se debe situar la nueva electrolinera.

La segunda razón es favorecer la posterior generación de la cuenta de pérdidas y ganancias para cada uno de los modelos económicos que se presentan. La estimación de la necesidad de electricidad en cada uno de los tramos para cada año facilita el cálculo de los costes y los ingresos por la compraventa de energía y su desglose por años.

Cada uno de los modelos económicos presentados, así como la comparativa entre ellos son debidamente explicados en el *Capítulo 4* en el que se incluyen además los resultados obtenidos para el caso estudio, expuesto en el siguiente capítulo.

2.4- Replicabilidad del modelo

La elaboración de la herramienta de cálculo se lleva a cabo con la idea de simplificar los cálculos y procedimientos para que más adelante sea de suma facilidad modificar la autovía objeto de estudio pudiendo, de esta forma, sustituirla por cualquier otra de las autovías nacionales o de otro país.

2.4.1- Modificación para otras autovías nacionales

Es necesario llevar a cabo una serie de modificaciones de no mucha complejidad para la modificación y adaptación del programa a otras vías de la Red Española de Autovías.

Los requisitos que esta nueva autovía debe cumplir para poder realizar su cálculo de necesidad de infraestructura de demanda son, en primer lugar, tener acceso a las series históricas de número de vehículos que circulan al día por los distintos tramos de la carretera, a ser posible obteniendo un dato para cada tramo de 20 kilómetros.

En el caso estudio y para el resto de las autovías pertenecientes a la Red de Autovías del Estado, la DGT ofrece series históricas y registros en los que con facilidad se puede encontrar el número de vehículos que circulan por una autovía, recogiendo el IMD (Índice Medio Diario) en cada uno de los puntos en los que se encuentra una estación fija de control de tráfico (DGT_19).

Una vez obtenidos estos datos e introducidos en la herramienta, la extrapolación de estos y la estimación del número de coches totales y de eléctricos circulando por cada punto se lleva a cabo automáticamente.

Una vez introducidos estos datos, y al ser las estimaciones de autonomía de los vehículos y de capacidad de las baterías las mismas que las empleadas para la autovía A3, al ser el cálculo para el mismo período de tiempo y los mismos datos históricos, simplemente habría que modificar el número de tramos en los que se divide la autovía (en función de su longitud), de ser esto necesario y proceder posteriormente al cálculo.

Los resultados obtenidos son presentados de la misma forma que en el caso estudio. De nuevo es necesario elegir el año para el que se pretende realizar el cálculo, así como el escenario deseado, el porcentaje de batería que se empleará de media antes del repostaje y la demanda que se desea cubrir junto a la capacidad aportada por cada local para la resolución problema de optimización.

Los datos empleados para el modelo económico son modificados automáticamente una vez se haya seleccionado la opción “REALIZAR CÁLCULO” en el programa del modelo económico. Los resultados son entonces presentados de la misma forma que se expusieron para el caso estudio.

2.4.2- Modificación para autovías pertenecientes a otros países

En este caso, y a diferencia del anterior, no solo es necesario modificar la longitud de la autovía y el número de vehículos por tramo, sino que las predicciones de número de vehículos totales para cada año y de evolución del parque de vehículos eléctricos es distinta, al ser otro país el objetivo del estudio.

Los datos de la estimación de número de vehículos eléctricos se pueden obtener fácilmente para países pertenecientes a la Unión Europea en el EAFO (European Alternative Fuels Observatory) (EAFO19). Es de este informe de donde son extraídos los datos para el estudio, en concreto del informe para España llevado a cabo por la entidad.

Con relación al número total de vehículos y las estimaciones de crecimiento del parque automovilístico, los datos se pueden obtener de la página web del gobierno de ese país. De no ser así, y al tratarse de estimaciones aproximadas, datos de países con renta per cápita y número de habitantes similares pueden ser empleados.

Por último y como en las modificaciones para otras autovías nacionales, es necesario obtener el IMD para cada tramo de 20 kilómetros de la autovía a estudiar. Se modifica la longitud de esta, es decir, el número de tramos, en las pestañas que sea pertinente y se procede al cálculo.

El cálculo de autonomía para los primeros años proviene de los datos de ventas de vehículos en España, calculando una curva aproximada de autonomía de los vehículos, que más adelante será modificada para el resto de años.

Para mayor precisión en el estudio, a la hora de modificar el país en el que se realiza el estudio se deben modificar el número de coches en circulación de cada uno de los modelos que aparecen para cada uno de los años. De esta forma la curva obtenida representaría con mayor fidelidad la realidad actual del país y por tanto las extrapolaciones serían de mayor fiabilidad. También podrían modificarse, de ser necesario, el incremento de la flota de vehículos que se produce para cada tramo de autonomía en cada uno de los años. De esta forma no solo la curva inicial se vería modificada, sino la progresión que esta describiría para cada uno de los escenarios.

Por último, los datos de nuevo trasladados automáticamente a la herramienta de cálculo del modelo económico, una vez seleccionada la opción indicada, obteniendo así el estudio del modelo económico deseado.

2.5- Escalabilidad del modelo

La herramienta desarrollada podría emplearse para el cálculo de potenciales puntos de instalación de electrolineras en vías secundarias realizando las mismas modificaciones que se deberían llevar a cabo para adaptar el programa a otra autovía.

Los datos del IMD deben ser recogidos para cada uno de los tramos y se debe modificar la cantidad de estos en función de la longitud de la carretera.

En cuanto al cálculo del acumulado anual, se podría modificar el factor aplicable al IMD para cada semana del año, en función del tipo de carretera y de la localización de ésta.

En localizaciones costeras, el incremento del IMD es muy superior en el periodo estival, decreciendo por el contrario en el periodo hibernal.

Estas modificaciones pueden ser comprobadas en la gráfica de donde fue extraída la información empleada para el estudio principal (TOMA14).

2.6- Conclusiones

Como se puede comprobar en los resultados, la estimación de autonomía del parque de vehículos fluctúa de manera que los picos de la gráfica desaparecen, tendiendo a una distribución lineal con inclinación positiva hacia valores crecientes de rango de autonomía. Esto se debe a que los avances de las baterías en el sector permiten cada vez alcanzar autonomías mayores, aunque los coches con menores rangos no desaparecen del mercado definitivamente, sino que sus porcentajes disminuyen paulatinamente al dejarse de producir, siendo superados por modelos más modernos. Hoy en día, grandes compañías como Renault aseguran poder alcanzar rangos de autonomía en torno a 600 kilómetros en algunos de sus modelos más pequeños.

La distribución de capacidad de las baterías, a pesar de ser una extrapolación de resultados, se aproxima con suficiente fiabilidad al estado actual de las baterías. A la espera de grandes avances en el sector, en la actualidad el tamaño y el peso de la batería siguen estando altamente relacionados con la autonomía que puede alcanzar el vehículo.

El programa diseñado es altamente flexible, permitiendo reproducir el cálculo para otro tipo de carreteras españolas, como por ejemplo secundarias o costeras, y para otras autovías nacionales e internacionales, teniendo que realizar cambios mínimos en el programa. Esto facilita en gran medida la extrapolación de resultados.

El problema principal que se encuentra en el funcionamiento de la herramienta es el hecho de no poder considerar el recorrido efectuado por los automóviles antes de incorporarse a la autovía como dato del cálculo. Este hecho puede suponer una subestimación del número de estacionamientos y de la demanda energética, especialmente en los tramos de entronque con otras carreteras de alto IMD de tráfico.

Capítulo 3.- CASO ESTUDIO: AUTOVÍA MADRID – VALENCIA (A3)

3.1 - Presentación de los resultados

En este proyecto se emplea la Autovía del Este o A3 como caso estudio para ejemplificar el uso de la herramienta desarrollada y poder emplear los resultados obtenidos en el cálculo económico que tiene lugar en el *Capítulo 4*, donde se comparan los distintos modelos económicos.

La Autovía del Este consta de 352 kilómetros como autovía, que para simplificar los cálculos son tomados como 360, dato que coincide con los kilómetros como N-3 de los que cuenta la carretera.



Figura 23. Mapa del recorrido de la Autovía del Este (A3)

El trazado de la autovía es dividido en tramos iguales de 20 km para cada uno de los cuales se estima el IMD o Índice Medio Diario (vehículos/día), valiéndose de los datos aportados por la DGT (DGT_19). Estos son valores medios de tránsito diario de vehículos, obtenidos recogiendo información de las estaciones permanentes de control de tráfico.

Una vez obtenidos estos datos, que son presentados en las tablas a continuación, se calculan las estimaciones de número de vehículos eléctricos que circulan por cada punto y se repite el proceso extrapolando resultados para todos los años comprendidos en el periodo de estudio 2016 a 2030.

Con los datos obtenidos de número de vehículos al día, se lleva a cabo la identificación de tramos de entrada, salida y la franja neutra, empleando la distribución de autonomías calculada anteriormente y la de capacidad de las baterías. Con estos datos, se procede al cálculo de estacionamientos y energía necesaria para repostaje en cada uno de los tramos en los que se ha dividido la autovía.

Los resultados del cálculo se presentan en el *Anexo III*.

Primero se incluyen las tablas en las que aparecen los datos numéricos de los resultados. En la primera se recogen los registros diarios, primero del sentido salida, luego del de entrada y por último el acumulado de ambos. Estos datos son seguidos en la segunda tabla del acumulado anual, para el que se ha empleado la corrección del IMD para cada semana del año que se indica la Figura 19 en el funcionamiento de la herramienta. Debajo de las tablas se incluyen dos gráficas que recogen los valores anuales totales para cada tramo y el desglose de la aportación llevada a cabo por cada sentido de la autovía, siendo el sentido salida el que recoge el trayecto Madrid – Valencia y el sentido entrada el contrario.

En el *Anexo III* se incluyen las dos tablas y las dos gráficas tanto para el cálculo de estacionamientos como para el de demanda energética en cada uno de los tres escenarios estudiados. A continuación, se han incluido las tablas de los valores totales calculados para el año 2020 y el escenario TEC (tecnológico) para que sirvan como ejemplo de los resultados obtenidos.

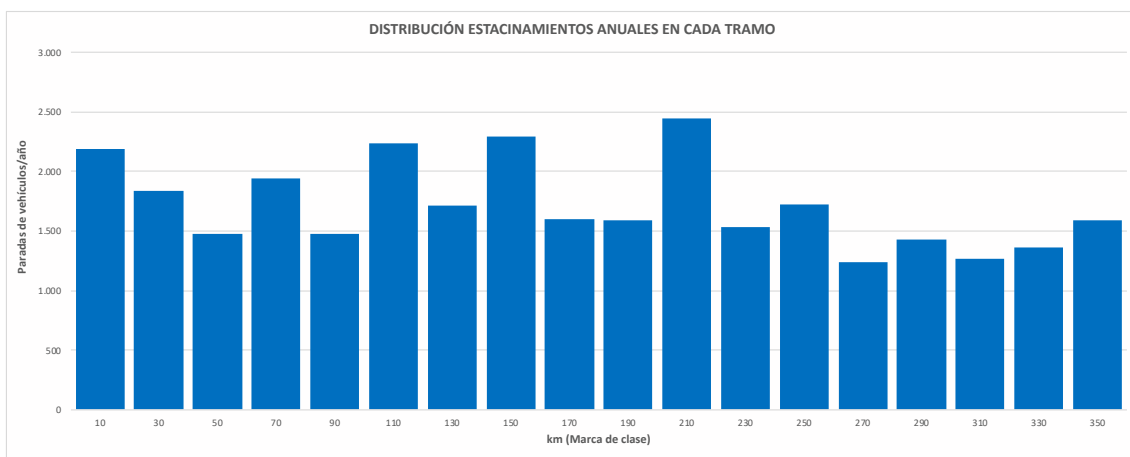


Figura 24. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario TEC

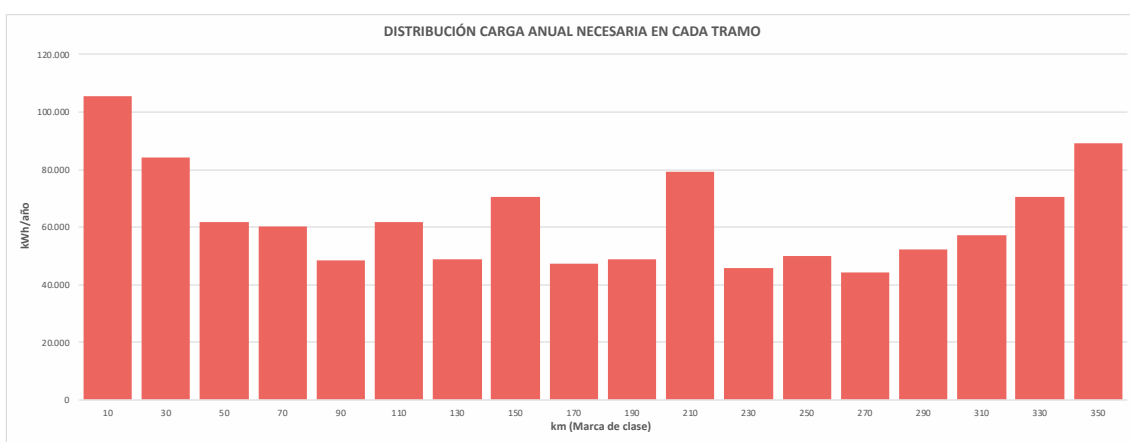


Figura 25. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario TEC

Como se puede comprobar, los tramos en los que se producen más estacionamientos y los que requieren mayor aporte energético no siempre coinciden. Esto se debe a que las autonomías de los coches con menor capacidad de batería son menores, y por tanto deben parar con mayor frecuencia a repostar, siendo los kWh

que necesitan para la recarga menos que en aquellos vehículos con mayor autonomía. Esto supone que, en ciertos tramos, a pesar de ser menos los coches que estacionen, la energía requerida es mayor.

Debido a la dificultad de elección de los emplazamientos para las electrolinerías a simple vista, se procede al cálculo de optimización mediante el cual, para el porcentaje de demanda que se desea cubrir y sabiendo la capacidad energética que es capaz de proveer cada local, se puede calcular en qué puntos y cuántos locales serán necesarios.

Estos valores son automáticamente calculados y presentados escogiendo la opción “REALIZAR CÁLCULO DE OPTIMIZACIÓN” en la herramienta diseñada.

Los resultados para una demanda cubierta del 60% y cantidad de energía suministrada por un solo establecimiento al año de 450.000 kWh, se presentan a continuación en esta figura. Estos cálculos han sido obtenidos para el año 2025 y el escenario TEC. Se ha incluido además la demanda energética en cada tramo para ese mismo año.

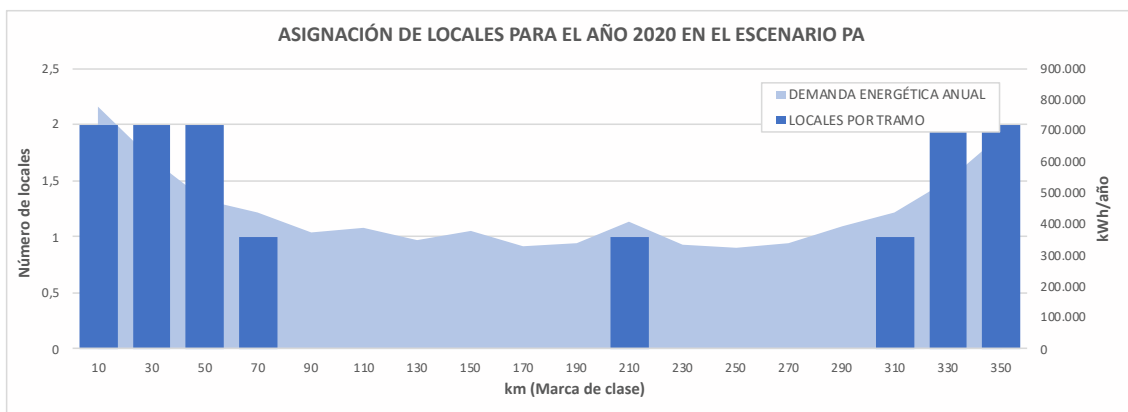


Figura 26. Asignación de locales por cada tramo

Como podemos comprobar, trece locales son necesarios para abastecer el 60% de la demanda ese año, teniendo en cuenta que cada uno de ellos tiene que aportar 120.000 kWh al año. Los tramos en los que se deben situar acompañan el resultado, quedando la localización de estos dentro de cada tramo a elección del usuario.

En el *Anexo III* se presentan los resultados numéricos para el mismo año y datos del cálculo desarrollados para cada uno de los tres escenarios. Los valores anuales totales van además acompañados del reparto por electrolinería instalada en las últimas columnas de las tablas.

La capacidad que puede aportar cada local no es aleatoria, sino que es estimada teniendo en cuenta el tiempo medio de recarga, las horas que estará funcionando cada local y el repostaje medio que llevará a cabo cada usuario. El valor resultante se encuentra en torno a los 473.000 kWh al año, teniendo en cuenta un local que cuente con cuatro surtidores.

3.2- Conclusiones

Los resultados obtenidos para la autovía estudiada (A3) son representativos del resto de autovías del país y la ejecución del cálculo sirve de ejemplo para entender el funcionamiento y uso de la herramienta diseñada.

Estudiando los resultados se observa que los tramos con mayor número de estacionamientos no coinciden con los de mayor demanda de energía. Esto se debe a que, al estar ligado el rango de autonomía con la capacidad de las baterías, los vehículos con menor rango realizarán más paradas, pero repostarán menos energía. Especialmente en los primeros años, las discordancias entre ambos resultados son mayores.

Observando los resultados, se contempla cómo la evolución del reparto de estacionamientos es más o menos uniforme a lo largo de todo el recorrido. Sin embargo, la gráfica de demanda energética presenta variaciones mayores entre tramos. Esto tiene especial relevancia a la hora de realizar los estudios económicos. En su desarrollo se han empleado los resultados de distribución de la demanda energética y no los de número de estacionamientos, pues en estos cálculos interesa saber el ingreso obtenido por el consumo eléctrico y no el número de estacionamientos que se efectúan en la electrolinera.

Se contempla en el estudio un cambio significativo en la evolución de la distribución de la demanda energética. Dividiendo el recorrido de la autovía en tres tramos iguales y empleando los resultados para el escenario TEC, se hace evidente el cambio de tendencia, pudiéndose diferenciar a su vez dos periodos de tiempo distintos.

En el primer periodo, entre los años 2016 y 2018, el grueso de la demanda se aglutina en el tramo central de la autovía, alcanzando el 60% de la demanda de ese año, en contraste con el 25% agrupada en el primer tramo y el 14% restante en el tercero. Esto se debe principalmente al bajo desarrollo en la autonomía de las baterías, lo que implica que los vehículos deben realizar paradas en su trayecto antes de alcanzar destino y que la mayoría de estas tendrán lugar en los tramos centrales de la autovía.

En el segundo periodo, entre los años 2020 y 2030, la necesidad de carga se concentra en los extremos de la autovía, en este caso en Madrid y Valencia. Se alcanzan porcentajes del 39% y del 35% de la demanda respectivamente. En contraposición, el tramo central recoge el 26% de la demanda según el último año de estudio. Esto se debe a dos motivos:

En primer lugar, el IMD de vehículos es mayor en esos puntos, es decir, hay mayor tránsito de coches cuanto más cerca nos encontremos de cualquiera de ambas ciudades.

En segundo lugar, al ser la autonomía de los coches mayor en esos años, son necesarias pocas o ninguna parada para efectuar el recorrido entre ambas ciudades.

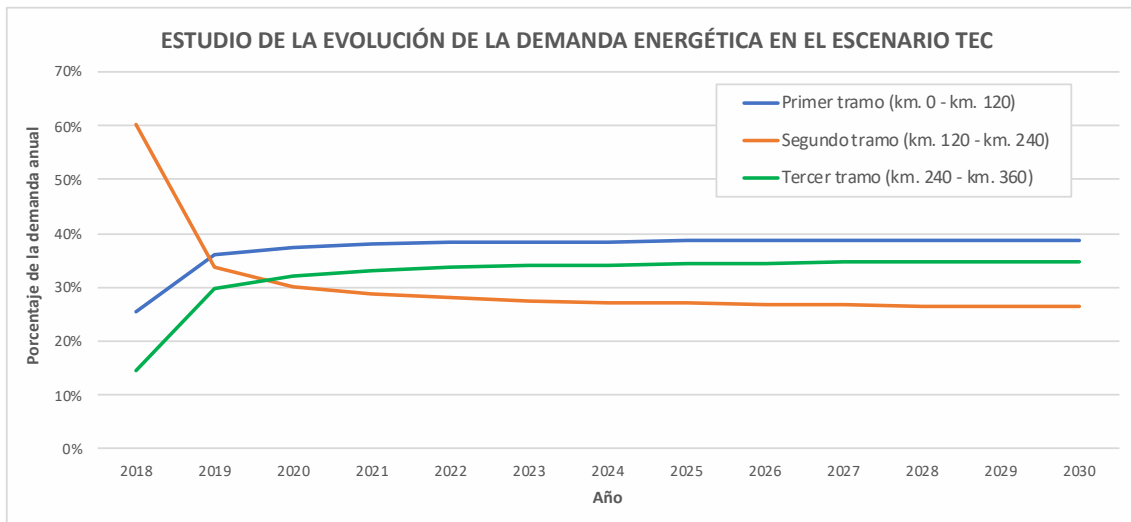


Figura 27. Análisis de la evolución de la demanda por tramos

A pesar de la polarización que tiene lugar en los extremos de la autovía estudiada, no es sencilla la elección del tramo en el que situar un nuevo punto de recarga. Esto se debe a incertidumbres de cara a futuro, especialmente relacionadas con la competitividad entre las distintas empresas a la hora de posicionarse en los tramos con mayor demanda.

Esta circunstancia puede provocar que, en aquellas zonas a priori destacables por su alta demanda, la implantación de multitud de puntos de recarga provoque un reparto de los clientes reduciendo los beneficios significativamente.

Por todo esto, debe estudiarse la implantación de electrolineras en los tramos centrales de las autovías, pues a pesar de ser la demanda inferior, los beneficios pueden ser superiores por la falta de competitividad.

Capítulo 4.- ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE NEGOCIO

Para este trabajo se contemplan cuatro modelos de negocio distintos, que cubren el espectro actual de posibles inversores en la generación de nuevos puntos de recarga para vehículos eléctricos.

Para cada uno de estos casos se estudia el modelo de negocio y la rentabilidad del proyecto entre los años 2020 y 2029, pues se pretende rentabilizar la inversión en diez años.

Cada uno de los modelos presentados a continuación representa uno de los perfiles susceptibles de invertir en la generación de infraestructura de recarga. Dentro de cada uno de ellos se pueden incluir diversas compañías del sector, muchas de las cuáles ya han iniciado proyectos para movilizarse en este campo.

El espectro por cubrir es amplio, pero se confía en que con estos cuatro grupos queden debidamente representadas las distintas posibilidades y se anime de esta forma tanto a compañías como a inversores independientes a apostar por este modelo de negocio y fomentar de esta forma la transición hacia la movilidad eléctrica.

4.1- Modelo independiente

4.1.1- Descripción del modelo

Como inversor independiente, se engloba a toda empresa autónoma o particular que desea instalar un centro de recarga. En este grupo se incluyen además las empresas automovilísticas que deciden implantar puntos de recarga para los vehículos de su marca.

El elemento distintivo de este grupo es la falta de un terreno que permita instalar directamente la electrolinera. Esto obligará a los inversores a comprar un terreno y a habilitarlo con los costes adicionales que esto supone.

Al ser la instalación de estos puntos de recarga en medios interurbanos, se hace necesaria la inclusión de un área de descanso situada cerca de los surtidores, pues los tiempos de recarga son elevados y es conveniente ofrecer alguna actividad de ocio u hostelería mientras transcurre la espera.

El proyecto planteado por tanto para este modelo cuenta con la construcción de una zona de carga, en este caso con cuatro surtidores, cubiertos por una estructura metálica que resguarde los coches mientras se efectúa el repostaje. Además, se habilitará una zona de descanso con mesas y máquinas expendedoras para acoger a los usuarios mientras esperan.

Las desventajas que presenta el modelo independiente son, en primer lugar, la necesidad de adquirir un terreno además de tener que llevar a cabo la obra civil para habilitarlo debidamente.

En segundo lugar, al no tener acuerdos con ninguna compañía eléctrica, el coste de la electricidad será alto con respecto al de otros modelos, al tener que incluir un margen de beneficio para alcanzar una rentabilidad suficiente en el proyecto.

En el ámbito de las compañías automovilísticas cabe destacar la empresa Tesla. Esta compañía, en los países en los que opera, además de instalar cargadores privados en los domicilios de los propietarios de sus vehículos, genera una red de supercargadores exclusivos de la marca.

Al ser una compañía de gran tamaño que alcanza altos beneficios con la venta de sus vehículos, el objetivo de la instalación de estos puntos de recarga no es tanto la rentabilidad como estaciones de servicio, sino incentivar la compra de sus vehículos. Esto se consigue transmitiendo a los clientes la seguridad de que podrán realizar el repostaje en una amplia cantidad de puntos de recarga, en prácticamente cualquier trayecto que deseen realizar.

4.1.2- Análisis de los resultados

El modelo independiente no ofrece beneficios en los primeros diez años, lo que hace de él el menos rentable de los presentados, como se puede apreciar en la previsión de ingresos y gastos recogida en la *Tabla 28* del *Anexo IV*.

Esto se debe principalmente al alto coste de la inversión inicial, al tener que adquirir un terreno y habilitarlo para su uso, además del alto coste de implantación de los surtidores. Esto, añadido al hecho de que la electricidad se adquiere a un coste también elevado, hacen de este un modelo poco recomendable teniendo en cuenta las incertidumbres respecto a la evolución del parque automovilístico y el probable despliegue de otros puntos de recarga cercanos que resten clientela.

La falta de una actividad paralela que aporte un beneficio adicional a la venta de energía y el alto coste de la generación de la infraestructura hace de este modelo el menos rentable de los cuatro.

Solo será viable en el caso de grandes compañías automovilísticas que pretendan ofrecer un servicio de recarga, aunque sea con carácter temporal, para de esta forma incentivar la compra de sus vehículos, obteniendo beneficios globales a pesar de que el repostaje en sus postes sea deficitario.

4.2- Modelo de compañía eléctrica

4.2.1- Descripción del modelo

Este planteamiento empresarial es el desarrollado por grandes compañías eléctricas, que deciden implantar estaciones de recarga con el objetivo de obtener beneficios de la venta directa de electricidad a los usuarios de coches eléctricos.

Estas empresas, al no contar con estaciones de servicio, deben adquirir terrenos, preferiblemente cercanos a las autovías, donde instalar sus surtidores. Además, como en el caso de los inversores independientes, será necesario construir una pequeña zona de descanso además de la obra civil para habilitar el terreno y la zona de recarga.

La ventaja con la que cuentan estas compañías es el menor precio al que pueden adquirir la energía que ofrecerán en sus postes de recarga. Pueden ofertar precios finales más competitivos que otras empresas independientes que tienen que comprar la energía a precios de mercado.

Su desventaja radica de nuevo en la falta de terreno. Esto supondrá un alto coste de inversión difícilmente compensado con los beneficios de la venta de electricidad, a pesar de que estos sean más altos que en otros modelos.

Empresas del sector como Iberdrola o Endesa ya han iniciado proyectos para el despliegue de puntos de recarga con estas características. En muchos de los casos, las compañías llegan a acuerdos con distintos establecimientos para la instalación de sus surtidores en parkings o zonas exteriores, evitando de esta forma el coste adicional que supone habilitar un terreno. Este modelo de negocio entraría, sin embargo, en la tercera categoría que se estudia a continuación.

4.2.2- Análisis de los resultados

Este modelo de negocio es de nuevo no rentable, debido al alto coste de la adquisición del terreno y de la obra civil. A pesar de ser los beneficios por la venta de electricidad superiores respecto a otros casos, la venta de energía como actividad principal no es capaz de aportar los ingresos suficientes.

La incertidumbre con respecto a la evolución de la flota de vehículos y la posibilidad de que otros emplazamientos de sitúen cerca de esta electrolinera reduciendo su clientela hacen poco recomendable este modelo de negocio.

Es destacable también que la imagen corporativa juega un papel fundamental en las empresas eléctricas, siendo muy bien acogido por los usuarios la contribución de estas al cuidado del medio ambiente, favoreciendo una imagen verde o ecológica. Esto puede llevar en ocasiones a ciertas compañías a implantar electrolineras a pesar de ser los beneficios obtenidos bajos o nulos.

Los resultados numéricos del estudio económico se recogen en la *Tabla 29 del Anexo IV*.

4.3- Modelo de establecimiento en explotación

4.3.1- Descripción del modelo

En este grupo se incluyen todo tipo de establecimientos que cuenten con un terreno propio en una vía interurbana y que desean instalar un centro de recarga de manera adicional a su actividad principal. Se trata por tanto de restaurantes, hoteles, gasolineras y cafeterías entre otros locales.

En estos casos, al no ser la venta de electricidad la actividad principal del establecimiento, esta podrá suponer unos ingresos adicionales. La rentabilidad de la inversión dependerá por tanto de la supuesta recuperación de la inversión con estos ingresos adicionales.

Ante el principal problema del repostaje eléctrico, que es el tiempo de espera durante la recarga, estos establecimientos son capaces de ofrecer una actividad paralela de ocio u hostelería. Esta además se verá favorecida por el aumento de la afluencia de clientes, incentivada en muchos casos por la mejora de la imagen del establecimiento.

El mayor hándicap en este caso, al igual que en los inversores independientes, está en los altos costes en la compra de energía, al no tener acuerdos con empresas eléctricas.

Otra desventaja sería que la localización de estos establecimientos es en muchos casos peor que en el cuarto modelo, al no estar situados en las vías de servicio. Esto supone además la necesidad de anunciarse, lo que supondrá un gasto adicional.

4.3.2- Análisis de los resultados

Como se puede observar en los datos recogidos en el *Anexo IV* en la *Tabla 30*, el modelo económico produce beneficios a partir del cuarto año.

Esto se debe principalmente al bajo coste de la inversión, por no necesitar la construcción de un área de servicio. Al contar con un establecimiento, este local funcionará como área de descanso.

Además, este tipo de locales cuentan con el beneficio económico del aumento de su actividad empresarial, al ser la instalación de puntos de recarga un reclamo para todos los conductores de vehículos eléctricos.

Este modelo puede verse reforzado por la sinergia con alguno de los modelos anteriores. En los casos en los que el establecimiento alcance acuerdos de explotación con otras compañías eléctricas o automovilísticas que se hagan cargo de la instalación de los surtidores, los beneficios se verán incrementados rápidamente. En muchos de estos casos, se acuerda la explotación parcial o total del punto de recarga entre ambas empresas. La inversión inicial será prácticamente nula, y se podrán beneficiar además de abaratamientos en la compra de la electricidad.

Iberdrola está siendo pionera en este aspecto, habiendo alcanzado ya acuerdos con restaurantes y hoteles en las principales autovías y corredores del país para la instalación de sus puntos de recarga.

Tesla, por el contrario, ya cuenta con muchos emplazamientos distribuidos por España, en los cuales instala sus cargadores cediendo la totalidad de su explotación al local en el que se instalan.

4.4- Modelo de compañía petrolera y eléctrica

4.4.1- Descripción del modelo

Formado por aquellas compañías energéticas o petroleras que tienen participación en empresas eléctricas o que han alcanzado acuerdos con alguna de ellas.

La mayoría de las grandes petroleras ha realizado inversiones para ganar exposición a una energía más limpia e impulsar la sostenibilidad y la lucha contra el cambio climático. En este grupo aparecen Repsol y Cepsa como las pioneras en España en llevar a cabo movimientos en esta dirección.

En estos casos, la compañía se beneficia de un coste de la electricidad reducido con respecto a otros modelos, al tener acuerdos con compañías eléctricas que permitan un abaratamiento significativo del precio del MWh. Además, al contar con una estación de servicio funcional, no es difícil adaptar parte del negocio al repostaje de vehículos eléctricos sin necesidad de abandonar, por lo menos en los primeros años, la actividad anterior. Esto supone por tanto que no será necesario adquirir un nuevo terreno, lo que abarata significativamente los costes de inversión. Estas estaciones de servicio cuentan en su mayoría con cafeterías o tiendas que suponen un beneficio adicional a la hora de obtener dividendos y que hacen que la rentabilidad del proyecto se alcance desde los primeros años. Los emplazamientos donde se sitúan estas estaciones están estratégicamente seleccionados, quedando próximos a las autovías y consiguiendo por tanto una mayor afluencia de coches. Esto supone que no deben promocionarse de la misma forma que si es necesario en otro tipo de establecimientos.

El personal que trabaja previamente en estas estaciones de servicio cuenta con experiencia en la actividad, lo cual es una ventaja adicional.

4.4.2- Análisis de los resultados

Los resultados numéricos de este modelo económico se encuentran recogidos en el *Anexo IV* en la *Tabla 31*. En ellos se puede comprobar cómo este modelo aporta beneficios a partir del cuarto año, alcanzándose un beneficio total ligeramente superior al del modelo de establecimiento en explotación.

Los beneficios obtenidos en este planteamiento dependen entre otras cosas del abaratamiento en el precio al que puedan adquirir la electricidad.

Otro de los factores a favor es el hecho de que la actividad que ofrecen no se limita simplemente a la venta de electricidad, sino que actividades complementarias como cafeterías o tienda de suministros añaden solidez al modelo.

La instalación de surtidores eléctricos en estaciones de servicio supondrá un beneficio adicional para la empresa, mejorando la imagen corporativa de la marca. El compromiso con el medioambiente y la lucha contra el cambio climático son características que aumentan en valor de las empresas hoy en día.

Multinacionales del sector energético como Repsol y Cepsa ya han iniciado la instalación de puntos de recarga para coches eléctricos en algunas de sus estaciones de repostaje, entrando en la disputa con las empresas eléctricas por la cobertura del suministro de recarga eléctrica nacional.

4.5- Comparativa de los modelos de negocio

Las diferencias principales entre los modelos estudiados residen fundamentalmente en el tipo de construcción que se proyecta y el coste al que adquieren la electricidad.

En los modelos independientes y de compañía eléctrica, la falta de terreno supone una previa adquisición de este, además de su habilitación. Además, al no contar con una actividad paralela a la venta de energía ni ofrecer ningún tipo de servicio durante el tiempo de espera necesario para la recarga, se aboga por la construcción de una pequeña área de servicio con mesas y máquinas expendedoras donde los usuarios del punto de recarga puedan descansar. Esto supone un coste adicional.

En los modelos de establecimientos o de petroleras que cuentan con estaciones de servicio, se supone que la localización ya ofrece actividades de recreo, por lo que únicamente se tendrá que realizar la construcción de la estructura que protege la zona de recarga, además de la habilitación de las plazas y la instalación de los cargadores.

La segunda característica diferenciadora es el precio de compra de la electricidad. Los modelos empresariales de compañías eléctricas o que tengan acuerdos con estas pueden adquirir la energía a menor precio, lo que supone un beneficio adicional con respecto al modelo independiente y al de establecimiento en explotación. Aun así, en muchos casos son las eléctricas las que alcanzan acuerdos con establecimientos, desarrollándose un modelo mixto entre el segundo y el tercero presentados anteriormente, que aumenta de manera significativa los beneficios obtenidos, al aglutinar las ventajas de ambos modelos.

4.6- Conclusiones

En la actualidad, el modelo de **inversor independiente** se descarta como opción viable, al ser el coste de la compra del terreno y habilitación de éste muy superior a los beneficios que se pueden alcanzar con la venta de energía. A diferencia de lo que ocurre en medios urbanos, los postes de recarga no se pueden situar en las autovías de manera aislada, sino que deben contar con un mínimo de infraestructura, lo que supone un gasto difícilmente compensable sin el respaldo de una gran compañía.

El modelo presentado por **empresas eléctricas** no parece a priori rentable. De nuevo el coste económico de la adquisición de un terreno y la habilitación de este no puede ser amortizado con la venta de energía, ni siquiera teniendo en cuenta el precio reducido del que se pueda beneficiar en la compra de esta. Este modelo, planteado desde la generación de una electrolinera partiendo de cero, solo se entiende en el caso de que se busque una mejora de la imagen de la compañía, consiguiendo beneficios en la captación de clientes, que ven con buenos ojos la adopción de medidas sostenibles y de lucha contra el cambio climático. De otro modo, los beneficios no serán suficientes para cubrir la inversión inicial.

El tercer modelo analizado corresponde a **establecimientos hoteleros y de restauración** ya existentes, que pueden obtener grandes beneficios con la instalación de puntos de recarga, sobre todo si llegan a acuerdos con compañías eléctricas o fabricantes de coches eléctricos que minimicen los costes de implantación o de la compra de energía. Las ventajas competitivas de este modelo vienen determinadas por el bajo coste de habilitación de la zona de carga, y el beneficio producido por el aumento de clientes obligados a dedicar el tiempo de espera a un posible consumo en el establecimiento principal. Como desventaja se puede destacar que estos establecimientos no se suelen ubicar en las vías de servicio de las autovías, por lo que los usuarios tienen que desviarse de la ruta con el consiguiente trastorno y por otro lado obliga a publicitar el servicio ofrecido.

Por último, las **compañías petroleras** que cuenten con acuerdos con otras eléctricas son las que producen mayor beneficio tanto a corto como a largo plazo, obteniendo rendimientos superiores a los de establecimientos de otros sectores con acuerdos similares.

Este cuarto modelo parte de unos costes de implantación muy bajos, teniendo solo que realizar trabajos de adaptación de las instalaciones a los que suma los precios de compra de energía muy bajos.

Al igual que el modelo anterior, si disponen de un local anexo de restauración contarán con los beneficios adicionales debidos al aumento de su actividad.

Otras ventajas competitivas frente a los casos ya analizados son la ubicación en puntos estratégicos de las autovías, con accesos ya establecidos, no siendo necesario hacer un esfuerzo importante en publicitar su actividad. Además, cuentan con personal especializado, por lo que los gastos de formación de personal se reducen significativamente.

Se concluye por tanto que los modelos más sostenibles son aquellos que cuentan con una actividad adicional a la venta de energía y que no necesitan adquirir un terreno para la instalación de los surtidores.

Empresas como Repsol, Cepsa, Iberdrola o Endesa ya han iniciado la implantación de puntos de recarga, dando comienzo la competición por el control del negocio de la movilidad eléctrica.

Capítulo 5.- CONCLUSIONES DEL TRABAJO E IMPACTO

5.1- Conclusiones del estudio

Hoy en día la movilidad eléctrica se presenta como la alternativa más consistente a la hora de sustituir los coches de combustión convencionales, favoreciendo de esta forma la transición energética hacia un desarrollo sostenible.

Con la intrusión de grandes multinacionales en el sector y el consiguiente aumento de la competencia entre ellas, se produce un incremento de la inversión en infraestructura de recarga, que irá acompañado de un aumento de las ventas de los coches eléctricos. Si esta participación es favorecida por medidas gubernamentales, es posible que se alcancen los objetivos fijados por la Unión Europea en pocos años, consiguiéndose la independencia de España de los combustibles fósiles.

La herramienta presentada en este proyecto se diseña con el objetivo de poder estudiar la evolución de la demanda energética en medios interurbanos, contemplando distintos escenarios y su progresión a lo largo de los años de manera rápida e intuitiva. El programa presenta gran versatilidad y es capaz de adoptar modificaciones referentes tanto al tipo de carretera, como a la aparición de nuevos datos que modifiquen o sustituyan los empleados. Observando los resultados obtenidos se comprueba el correcto funcionamiento de la herramienta.

A pesar de las incertidumbres en este ámbito, los resultados obtenidos son coherentes con las hipótesis de partida. Aun así, el programa presenta gran sensibilidad ante la aparición de nuevas tecnologías que puedan cambiar la dirección del progreso.

Estudiando los resultados se observa que los tramos con mayor número de estacionamientos no coinciden con los de mayor demanda de energía. Especialmente en los primeros años, las discordancias entre ambos resultados son mayores.

Esto tiene especial relevancia a la hora de realizar los estudios económicos. En su desarrollo se han empleado los resultados de distribución de la demanda energética y no los de número de estacionamientos, pues en estos cálculos interesa saber el ingreso obtenido por el consumo eléctrico y no el número de estacionamientos que se efectúan en la electrolinera.

Se contempla en el estudio un cambio significativo en la evolución de la distribución de la demanda energética. Dividiendo el recorrido de la autovía en tres tramos iguales y empleando los resultados para el escenario TEC, se hace evidente el cambio de tendencia, pudiéndose diferenciar a su vez dos periodos de tiempo distintos (Figura 27).

En el primer periodo, entre los años 2016 y 2018, el grueso de la demanda se aglutina en el tramo central de la autovía, alcanzando el 60% de la demanda de ese año, en contraste con el 25% agrupada en el primer

tramo y el 14% restante en el tercero. Esto se debe principalmente al bajo desarrollo en la autonomía de las baterías, lo que implica que los vehículos deben realizar paradas en su trayecto antes de alcanzar destino y que la mayoría de estas tendrán lugar en los tramos centrales de la autovía.

En el segundo periodo, entre los años 2020 y 2030, la necesidad de carga se concentra en los extremos de la autovía, en este caso en Madrid y Valencia. Se alcanzan porcentajes del 39% y del 35% de la demanda respectivamente. En contraposición, el tramo central recoge el 26% de la demanda según el último año de estudio. Esto se debe a dos motivos:

En primer lugar, el IMD de vehículos es mayor en esos puntos, es decir, hay mayor tránsito de coches cuanto más cerca nos encontremos de cualquiera de ambas ciudades.

En segundo lugar, al ser la autonomía de los coches mayor en esos años, son necesarias pocas o ninguna parada para efectuar el recorrido entre ambas ciudades.

A pesar de la polarización que tiene lugar en los extremos de la autovía estudiada, no es sencilla la elección del tramo en el que situar un nuevo punto de recarga. Hay muchas incertidumbres de cara a futuro, especialmente relacionadas con la competitividad entre las distintas empresas a la hora de posicionarse en los tramos con mayor demanda.

Esta circunstancia puede provocar que, en aquellas zonas a priori destacables por su alta demanda, la implantación de multitud de puntos de recarga desemboque en una dispersión de los clientes, reduciendo el número de usuarios por local y por tanto los beneficios.

Por todo esto, es importante un estudio detallado para la implantación de electrolinerías en los tramos centrales de las autovías, pues a pesar de ser la demanda inferior, los beneficios pueden ser superiores por la falta de competitividad.

En la actualidad, se distinguen varios modelos empresariales dispuestos a invertir en la generación de infraestructura de recarga.

El modelo de **inversor independiente** se descarta actualmente como opción viable, al ser el coste de la compra del terreno y habilitación de éste muy superior a los beneficios que se pueden alcanzar con la venta de energía. A diferencia de lo que ocurre en medios urbanos, los postes de recarga no se pueden situar en las autovías de manera aislada, sino que deben contar con un mínimo de infraestructura, lo que supone un gasto difícilmente compensable sin el respaldo de una gran compañía.

El modelo presentado por **empresas eléctricas** no parece a priori rentable. De nuevo el coste económico de la adquisición de un terreno y la habilitación de este no puede ser amortizado con la venta de energía, ni siquiera teniendo en cuenta el precio reducido del que se pueda beneficiar en la compra de esta. Este modelo, planteado desde la generación de una electrolinería partiendo de cero, solo se entiende en el caso de que se busque una mejora de la imagen de la compañía, consiguiendo beneficios en la captación de clientes, que ven con buenos ojos la adopción de medidas sostenibles y de lucha contra el cambio climático. De otro modo, los beneficios no serán suficientes para cubrir la inversión inicial.

El tercer modelo analizado corresponde a **establecimientos hoteleros y de restauración** ya existentes, que pueden obtener grandes beneficios con la instalación de puntos de recarga, sobre todo si llegan a acuerdos con compañías eléctricas o fabricantes de coches eléctricos que minimicen los costes de implantación o de la compra de energía. Las ventajas competitivas de este modelo vienen determinadas por el bajo coste de habilitación de la zona de carga, y el beneficio producido por el aumento de clientes obligados a dedicar el tiempo de espera a un posible consumo en el establecimiento principal. Como desventaja se puede destacar que estos establecimientos no se suelen ubicar en las vías de servicio de las autovías, por lo que los usuarios tienen que desviarse de la ruta con el consiguiente trastorno y por otro lado obliga a realizar un mayor esfuerzo en publicitar el servicio ofrecido. Este modelo alcanza un beneficio en torno al 10% en el cuarto año del periodo analizado, y se incrementa hasta el 47% en el décimo y último.

Por último, las **compañías petroleras** que cuenten con acuerdos con otras eléctricas son las que producen mayor beneficio tanto a corto como a largo plazo, obteniendo rendimientos superiores a los de establecimientos de otros sectores con acuerdos similares. Este cuarto modelo parte de unos costes de implantación muy bajos, teniendo solo que realizar trabajos de adaptación de las instalaciones a los que suma los precios de compra de energía muy bajos.

Al igual que el modelo anterior, si disponen de un local anexo de restauración contarán con los beneficios adicionales debidos al aumento de su actividad. Otras ventajas competitivas frente a los casos ya analizados son la ubicación en puntos estratégicos de las autovías, con accesos ya establecidos, no siendo necesario hacer un esfuerzo en publicitar su actividad. Además, cuentan con personal especializado, por lo que no tienen gastos de incorporación de personal adicional. En este modelo se alcanzan beneficios en torno al 16% en el cuarto año, es decir, ligeramente superiores a los del modelo anterior, ascendiendo posteriormente hasta el 52% en el último año.

Se concluye por tanto que los modelos más sostenibles son aquellos que cuentan con una actividad adicional a la venta de energía y que no necesitan adquirir un terreno para la instalación de los surtidores.

El rápido desarrollo de las tecnologías en el ámbito automovilístico puede suponer un inconveniente a la hora de invertir en la generación de infraestructura en medios interurbanos. De llevarse a cabo avances lo suficientemente grandes en la autonomía de los vehículos, estas electrolineras pueden dejar de ser rentables. Para entender esto hay que hacer una reflexión sobre el tipo de carga que se efectúa en los vehículos eléctricos.

Al contrario que en los coches de combustión, la recarga de los vehículos eléctricos se lleva a cabo preferiblemente en el domicilio privado y de noche, tratando de beneficiarse de las tarifas nocturnas, además del ahorro en tiempo que supone.

De ser este el comportamiento habitual a la hora de repostar, especialmente antes de iniciar un largo trayecto, los conductores no efectuarán paradas mientras que la autonomía lo permita. Esto, sumado a un probable desarrollo de las baterías que permita recorrer largas distancias, se puede traducir en un uso residual de las electrolineras situadas en vías interurbanas, quedando comprometida la rentabilidad de la inversión.

5.2- Impacto

5.2.1- Medioambiental

Medioambientalmente, el desarrollo de infraestructura de recarga provoca el aumento de las ventas de vehículos eléctricos, favoreciendo su inserción en el mercado automovilístico, lo que a su vez significa una disminución de las emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero. Al estar por tanto relacionadas la acogida del vehículo eléctrico en la sociedad con la amplitud de la red de electrolineras, el aumento de una de ellas va ligado al de la otra, ayudando a alcanzar los objetivos fijados en el Acuerdo de París y por lo tanto fomentando el respeto al medio ambiente.

5.2.2- Social

El cambio de paradigma debido a la aparición de nuevas tecnologías tan revolucionarias como el vehículo eléctrico nunca es sencillo, especialmente en sectores tan arraigados como el automovilístico, y estos cambios suelen requerir largos periodos de adaptación. La inserción del coche eléctrico en nuestra sociedad no tiene que ver solamente con la concienciación de las empresas, sino que es la sociedad la que tiene que adaptarse y evolucionar, de la mano de la tecnología. Para que esta apuesta se dé, es necesario incrementar la fiabilidad de la red de recarga, favoreciendo de esta forma que el comprador se convenza de que es seguro e inteligente apostar por el cambio.

5.2.3- Empresarial

Por último, en el ámbito empresarial, la fluctuación del mercado hacia las alternativas ecológicas, en concreto hacia los vehículos eléctricos, supone la creación de miles de nuevos puestos de trabajo. Además, el nivel de especialización requerido aumenta, en concreto en las ramas de la programación, pues los vehículos eléctricos requieren un mayor diseño en este ámbito de lo que requerían los coches de combustión interna. Distintas empresas del sector eléctrico, así como petroleras y otras del sector automovilístico están adoptando ya planes de futuro en los que tanto el suministro de electricidad como la apuesta por el vehículo eléctrico son pilares fundamentales.

Nos enfrentamos a un cambio de las políticas inversoras de las grandes compañías, como ya se vio en la introducción, que se desplazan hacia planteamientos más sostenibles, alcanzando un papel relevante en la transición energética.

Capítulo 6.- REFERENCIAS

- [EURO15] EUROPEAN COMMISSION, “The Paris Protocol – A blueprint for tackling global climate change beyond 2020”, Report COM (2015) 81 final, Brussels. February 2015.
- [OVEM19] OVEMS, Universidad Pontificia Comillas – IIT, Madrid. 2019.
<https://evobservatory.iit.comillas.edu/datos-e-indices#>
- [NNUU98] NACIONES UNIDAS, “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, Informe GE.05-61702, Kioto, Japón. Diciembre 1997.
- [WIKI19] WIKIPEDIA, “Acuerdo de París”, Año de consulta, 2019.
https://es.wikipedia.org/wiki/Acuerdo_de_Par%C3%ADs
- [DELO16] MONITOR DELOITTE, “Un modelo energético sostenible para España en 2050”, España, 2016.
- [EFEV15] EFEverde, “Proyecto #PorElClima”, París. Año de consulta, 2019.
- [REE_19] RED ELÉCTRICA ESPAÑOLA, “Cambio climático y transición energética”. Septiembre, 2017.
“Componentes del precio final y energía del cierre (€/MWh | MWh) en el sistema eléctrico Peninsular”. Año de consulta, 2019.
<https://www.ree.es/es/datos/mercados/componentes-precio-energia-cierre-desglose>
- [REDS17] RED ESPAÑOLA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE, “Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”, España. Diciembre 2017.
<http://reds-sdsn.es/que-hacemos/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- [ICO_19] INSTITUTO DE CRÉDITO OFICIAL (ICO), Espacio web para divulgar los ODS. Año de consulta, 2019.
<https://www.ico.es/web/ico/notas-de-prensa/-/blogs/el-ico-y-la-red-espanola-de-pacto-mundial-lanzan-un-nuevo-espacio-web-para-divulgar-los-ods-y-alinear-a-la-pyme-con-la-agenda-2030>
- [CIRC19] CIRCUTOR, “Recarga de vehículos eléctricos”. Año de consulta, 2019.
- [IBER18] IBERDROLA, “Iberdrola despliega la mayor red de estaciones de recarga rápida en autovías y corredores en España”. Septiembre, 2018.
<https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-despliega-mayor-estaciones-recarga-rapida-autovias-corredores-espana>

- [IBER19] IBERDROLA, “In just over a year, drivers will be able to travel across Spain in an electric vehicle”. Año de consulta, 2019.
<https://www.iberdrola.com/press-room/top-stories/electric-car-charging-stations-spain>
- [ENDE18] ENDESA X, “La movilidad eléctrica española se llama Endesa X”. Noviembre, 2018.
<https://www.enelx.com/es/news-and-media/news/2018/11/endesa-x-esp%C3%B1a>
- [CEPS18] CEPSA, “Cepsa se alía con Ionity para instalar cargadores ultrarrápidos en España y Portugal”. Julio, 2018.
<https://www.cepsa.com/es/prensa/notas%E2%80%93prensa/Cepsa-se-al%C3%ADa-con-IONITY-para-instalar-cargadores-ultrarr%C3%A1pidos-en-Esp%C3%B1a-y-Portugal>
- [IONI19] IONITY. Año de consulta, 2019. <https://ionity.eu/en/where-and-how.html>
- [REPS19] REPSOL, “Ahora puedes recargar tu vehículo eléctrico en nuestra red de estaciones de servicio”. Año de consulta, 2019.
<https://www.repsol.es/es/productos-y-servicios/estaciones-de-servicio/servicios/recarga-electrica/index.cshml>
- [TESL19] TESLA, ‘Supercargadores en carretera’. Año de consulta, 2019.
https://www.tesla.com/es_ES/supercharger
- [ELEM19] ELECTROMAPS. Año de consulta, 2019. <https://www.electromaps.com/>
- [OPEN19] OPEN CHARGE MAPS - Navigate the world of electric vehicle charging. Año de consulta, 2019.
<https://openchargemap.org/site>
- [AEDI19] AEDIVE, Documentos de interés. Año de consulta, 2019.
- [CAMB18] CAMBRIDGE ECONOMETRICS, “Low-carbon cars in Spain: A socio- economic assessment”. July 2018.
- [ELEM18] ELEMENT ENERGY, “Repostando hacia el futuro. Como propulsar la economía dejando atrás el carbono”. Agosto, 2018.
- [ELEC19] ELECTROMOVILIDAD. Movilidad eléctrica, transporte sostenible. “Tipos de batería para coches eléctricos”. Año de consulta, 2019.
<http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>
- [XATA18] XATACA, “Otros tipos de acumuladores”. Año de consulta, 2019.
<https://www.xataka.com/automovil/esto-sera-lo-proximo-en-baterias-para-coches-electricos-mas-de-650-km-de-autonomia-real>
- [IDAE19] IDEA, “Guía de movilidad eléctrica para las entidades locales”. Febrero, 2019.
-

- [ANFA17] ANFAC, “Informe anual 2017, vehículo alternativo”. “Informe anual 2015, vehículo alternativo”.
- [MOTO19] MOTOR.ES “Baterías, potencia y autonomía: una relación no proporcional en los coches eléctricos”. Año de consulta, 2019.
<https://www.motor.es/noticias/baterias-autonomia-potencia-electricos-201849520.html>
- [EAFO19] EUROPEAN ALTERNATIVE FUELS OBSERVATORY (EAFO)
<https://www.eafo.eu/countries/spain/1754/vehicles-and-fleet>
- [DGT_19] DGT. Parque de vehículos, series históricas, años 2015, 2016 y 2017. Parque de vehículos, tablas estadísticas. Año 2018.
- [FOME19] MINISTERIO DE FOMENTO. Mapas de tráfico, 2017.
- [TOMA14] Tomás Martínez, Pedro. “Especialidad gestión del tráfico”, Temario Promoción Interna 2014. Parte 3. Gestión Técnica del Tráfico, tema 5, p.25. Septiembre, 2014.
- [BARC18] Barcia Martín, Javier. “Plan de negocio y viabilidad económica para la implantación de puntos de recarga de vehículos eléctricos para conectar Madrid con el Levante español”, p.67. Febrero, 2018.
- [GOME10] Gómez Fernández-Aguado, Fernando. “Plan especial urbanístico para la implantación de un área de servicio en la ctra. N-240, tramo Lleida-Huesca, p.k. 99+500, margen izquierda, término municipal de Lleida”. Mayo, 2010.

Capítulo 7.- ANEXOS

Anexo I - Datos de las variables de entrada

En este apartado se incluyen todos los datos recogidos que se emplean posteriormente para el cálculo del espectro de autonomía, del espectro de capacidad de las baterías. Estos datos son por tanto extrapolables para otras carreteras y autovías españolas, al ser datos generales para los primeros años del estudio, de los que se encontraron registros.

Anexo I. a - Cálculo del espectro de autonomía

En esta tabla se recogen datos de diversas fuentes en los que se recogen los distintos modelos de vehículos eléctricos que se vendieron entre los años 2016 y 2018 y cuántos de estos se vendieron cada año.

							2016		2017		2018	
MARCA	MODELO	Auton.	Correg.	Batería	Correg.	Tipo	#	%	#	%	#	%
Mercedes	Clase B ED	140	112	28	22,4	BEV	14	0,62	18	0,28	22	0,17
Audi	e-tron	328	262,4	95	76	BEV					9	0,07
BMW	i3	285	228	42,2	33,76	BEV	338	15,00	1021	15,86	1558	11,74
Citroën	C-Zéro	100	80	15,2	12,16	BEV	496	22,02	656	10,19	689	5,19
Citroën	e-Méhari	180	144	30	24	BEV	21	0,93	33	0,51	60	0,45
Hyundai	Ioniq	180	144	28	22,4	BEV	2	0,09	271	4,21	469	3,53
Hyundai	Kona 100	289	231,2	39,2	31,36	BEV					220	1,66
Hyundai	Kona 150	449	359,2	64	51,2	BEV					100	0,75
Jaguar	i-Pace	480	384	90	72	BEV					15	0,11
Kia	NIRO 100	289	231,2	39,2	31,36	BEV	0	0,00	124	1,93	33	0,25
Kia	NIRO 150	455	364	64	51,2	BEV					100	0,75
Kia	SOUL	276	220,8	39,2	31,36	BEV	88	3,91	185	2,87	256	1,93
Mitsubishi	i-MiEV	100	80	15,2	12,16	BEV	1	0,04	1	0,02	328	2,47
Nissan	Leaf 2018 40 240	260	208	40	32	BEV	519	23,04	1049	16,30	2313	17,42
Nissan	Leaf E+3 Zero	385	308	62	49,6	BEV					285	2,15
Nissan	e-NV200	280	224	24	19,2	BEV					57	0,43
Peugeot	iOn	160	128	15,2	12,16	BEV	17	0,75	46	0,71	73	0,55
Renault	Zoe	300	240	41	32,8	BEV	402	17,84	1729	26,86	3147	23,71
Smart	Fortwo	160	128	17,6	14,08	BEV	155	6,88	573	8,90	1324	9,97
Smart	Forfour	155	124	17,6	14,08	BEV	0	0,00	113	1,76	804	6,06
Tesla	Model 3	350	280	50	40	BEV					200	1,51
Tesla	Model X	475	380	100	80	BEV	9	0,40	171	2,66	331	2,49
Tesla	Model S	480	384	100	80	BEV	46	2,04	271	4,21	437	3,29
Volkswagen	e-Golf	200	160	35,8	28,64	BEV	138	6,13	156	2,42	422	3,18
Volkswagen	E-UP	120	96	18,7	14,96	BEV	7	0,31	19	0,30	23	0,17
TOTAL							2253		TOTAL	6436	TOTAL	13275

Tabla 1. Parque de vehículos eléctricos español

Estos datos se agrupan mas adelante en tramos de veinte kilómetros de autonomía, permitiendo para cada año calcular qué porcentaje del parque automovilístico eléctrico pertenece a cada uno de estos tramos.

CÁLCULO DEL ESPECTRO AUTONOMÍAS				
AÑO		2016	2017	2018
RANGO (km)		%	%	%
80	100	22,37	10,50	7,83
100	120	0,62	0,28	0,17
120	140	7,63	11,37	16,58
140	160	1,02	4,72	3,98
160	180	6,13	2,42	3,18
180	200	0,00	0,00	0,00
200	220	23,04	16,30	17,42
220	240	18,91	20,67	16,00
240	260	17,84	26,86	23,71
260	280	0,00	0,00	0,07
280	300	0,00	0,00	1,51
300	320	0,00	0,00	2,15
320	340	0,00	0,00	0,00
340	360	0,00	0,00	0,75
360	380	0,00	0,00	0,75
380	400	2,44	6,87	5,90
400	420	0,00	0,00	0,00
420	440	0,00	0,00	0,00
440	460	0,00	0,00	0,00
460	480	0,00	0,00	0,00
TOTAL		100	100	100

Tabla 2. Cálculo del espectro de autonomías para los años 2016 a 2018

El incremento anual que se ha llevado a cabo para el cálculo de la flota se incluye en la tabla a continuación. Como se puede comprobar, el incremento es de 100 coches por cada tramo, siendo el doble y el triple de crecimiento sobre el escenario PA en los escenarios TEC y TEC Rápido respectivamente.

Los porcentajes obtenidos para cada uno de los tramos se presentan a continuación. Cada una de las tablas representa los resultados de uno de los escenarios propuestos.

INCREMENTO ANUAL DE LA FLOTA (Número de vehículos)					
RANGO (km)		Xi	PA	TEC	TEC R
80	100	90	100	200	300
100	120	110	200	400	600
120	140	130	300	600	900
140	160	150	400	800	1200
160	180	170	500	1000	1500
180	200	190	600	1200	1800
200	220	210	700	1400	2100
220	240	230	800	1600	2400
240	260	250	900	1800	2700
260	280	270	1000	2000	3000
280	300	290	1100	2200	3300
300	320	310	1200	2400	3600
320	340	330	1300	2600	3900
340	360	350	1400	2800	4200
360	380	370	1500	3000	4500
380	400	390	1600	3200	4800
400	420	410	1700	3400	5100
420	440	430	1800	3600	5400
440	460	450	1900	3800	5700
460	480	470	2000	4000	6000
INCREMENTO TOTAL			21000	42000	63000

Tabla 3. Incremento de la flota de vehículos llevado a cabo en cada escenario

RANGO (km)			PA														
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
80	100	90	22,37	10,50	7,83	3,83	2,44	1,87	1,55	1,35	1,22	1,12	1,04	0,98	0,93	0,89	0,86
100	120	110	0,62	0,28	0,17	0,70	0,81	0,85	0,87	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,92
120	140	130	7,63	11,37	16,58	7,24	4,84	3,84	3,29	2,95	2,71	2,54	2,41	2,30	2,22	2,15	2,09
140	160	150	1,02	4,72	3,98	1,73	1,80	1,83	1,85	1,86	1,87	1,87	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
160	180	170	6,13	2,42	3,18	1,68	1,97	2,09	2,16	2,20	2,23	2,25	2,26	2,28	2,29	2,29	2,30
180	200	190	0,00	0,00	0,00	2,02	2,36	2,51	2,59	2,64	2,67	2,70	2,72	2,73	2,74	2,75	2,76
200	220	210	23,04	16,30	17,42	5,06	4,34	4,05	3,89	3,78	3,71	3,66	3,62	3,59	3,57	3,55	3,53
220	240	230	18,91	20,67	16,00	16,74	11,39	9,17	7,96	7,19	6,66	6,28	5,99	5,75	5,57	5,41	5,28
240	260	250	17,84	26,86	23,71	3,03	3,55	3,76	3,88	3,96	4,01	4,04	4,07	4,10	4,11	4,13	4,14
260	280	270	0,00	0,00	0,07	3,70	4,14	4,32	4,42	4,48	4,53	4,56	4,58	4,60	4,62	4,63	4,64
280	300	290	0,00	0,00	1,51	3,70	4,34	4,60	4,74	4,84	4,90	4,94	4,98	5,01	5,03	5,05	5,06
300	320	310	0,00	0,00	2,15	4,03	4,73	5,02	5,18	5,27	5,34	5,39	5,43	5,46	5,49	5,51	5,52
320	340	330	0,00	0,00	0,00	4,37	5,12	5,44	5,61	5,71	5,79	5,84	5,88	5,92	5,94	5,96	5,98
340	360	350	0,00	0,00	0,75	5,38	5,91	6,13	6,25	6,33	6,38	6,42	6,45	6,47	6,49	6,51	6,52
360	380	370	0,00	0,00	0,75	5,12	5,96	6,30	6,49	6,61	6,70	6,76	6,80	6,84	6,87	6,89	6,91
380	400	390	2,44	6,87	5,90	6,80	7,14	7,28	7,36	7,40	7,44	7,46	7,48	7,50	7,51	7,52	7,53
400	420	410	0,00	0,00	0,00	5,71	6,70	7,11	7,33	7,47	7,57	7,64	7,69	7,74	7,77	7,80	7,82
420	440	430	0,00	0,00	0,00	6,05	7,09	7,53	7,76	7,91	8,01	8,09	8,15	8,19	8,23	8,26	8,28
440	460	450	0,00	0,00	0,00	6,39	7,49	7,94	8,19	8,35	8,46	8,54	8,60	8,65	8,69	8,72	8,74
460	480	470	0,00	0,00	0,00	6,72	7,88	8,36	8,63	8,79	8,91	8,99	9,05	9,10	9,14	9,18	9,20

Tabla 4. Espectro de autonomía calculado para cada año en el escenario PA

			TEC														
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RANGO (km)		Xi	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
80	100	90	22,37	10,50	7,83	2,44	1,55	1,22	1,04	0,93	0,86	0,81	0,77	0,73	0,71	0,69	0,67
100	120	110	0,62	0,28	0,17	0,81	0,87	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94
120	140	130	7,63	11,37	16,58	4,84	3,29	2,71	2,41	2,22	2,09	2,00	1,93	1,88	1,83	1,80	1,77
140	160	150	1,02	4,72	3,98	1,80	1,85	1,87	1,88	1,88	1,88	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
160	180	170	6,13	2,42	3,18	1,97	2,16	2,23	2,26	2,29	2,30	2,31	2,32	2,33	2,33	2,34	2,34
180	200	190	0,00	0,00	0,00	2,36	2,59	2,67	2,72	2,74	2,76	2,77	2,78	2,79	2,80	2,80	2,81
200	220	210	23,04	16,30	17,42	4,34	3,89	3,71	3,62	3,57	3,53	3,50	3,48	3,47	3,45	3,44	3,43
220	240	230	18,91	20,67	16,00	11,39	7,96	6,66	5,99	5,57	5,28	5,08	4,93	4,80	4,71	4,63	4,56
240	260	250	17,84	26,86	23,71	3,55	3,88	4,01	4,07	4,11	4,14	4,16	4,18	4,19	4,20	4,21	4,21
260	280	270	0,00	0,00	0,07	4,14	4,42	4,53	4,58	4,62	4,64	4,66	4,67	4,68	4,69	4,69	4,70
280	300	290	0,00	0,00	1,51	4,34	4,74	4,90	4,98	5,03	5,06	5,09	5,11	5,12	5,13	5,14	5,15
300	320	310	0,00	0,00	2,15	4,73	5,18	5,34	5,43	5,49	5,52	5,55	5,57	5,59	5,60	5,61	5,62
320	340	330	0,00	0,00	0,00	5,12	5,61	5,79	5,88	5,94	5,98	6,01	6,03	6,05	6,06	6,08	6,08
340	360	350	0,00	0,00	0,75	5,91	6,25	6,38	6,45	6,49	6,52	6,54	6,56	6,57	6,58	6,59	6,59
360	380	370	0,00	0,00	0,75	5,96	6,49	6,70	6,80	6,87	6,91	6,94	6,97	6,99	7,00	7,02	7,03
380	400	390	2,44	6,87	5,90	7,14	7,36	7,44	7,48	7,51	7,53	7,54	7,55	7,56	7,56	7,57	7,57
400	420	410	0,00	0,00	0,00	6,70	7,33	7,57	7,69	7,77	7,82	7,86	7,89	7,91	7,93	7,94	7,96
420	440	430	0,00	0,00	0,00	7,09	7,76	8,01	8,15	8,23	8,28	8,32	8,35	8,38	8,40	8,41	8,43
440	460	450	0,00	0,00	0,00	7,49	8,19	8,46	8,60	8,69	8,74	8,79	8,82	8,84	8,86	8,88	8,89
460	480	470	0,00	0,00	0,00	7,88	8,63	8,91	9,05	9,14	9,20	9,25	9,28	9,31	9,33	9,35	9,36

Tabla 5. Espectro de autonomía calculado para cada año en el escenario TEC

			TEC Rápido														
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RANGO (km)		Xi	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
80	100	90	22,37	10,50	7,83	1,87	1,22	0,98	0,86	0,78	0,73	0,70	0,67	0,65	0,63	0,62	0,61
100	120	110	0,62	0,28	0,17	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
120	140	130	7,63	11,37	16,58	3,84	2,71	2,30	2,09	1,96	1,88	1,81	1,77	1,73	1,70	1,68	1,65
140	160	150	1,02	4,72	3,98	1,83	1,87	1,88	1,88	1,89	1,89	1,89	1,89	1,90	1,90	1,90	1,90
160	180	170	6,13	2,42	3,18	2,09	2,23	2,28	2,30	2,32	2,33	2,33	2,34	2,34	2,35	2,35	2,35
180	200	190	0,00	0,00	0,00	2,51	2,67	2,73	2,76	2,78	2,79	2,80	2,81	2,81	2,82	2,82	2,82
200	220	210	23,04	16,30	17,42	4,05	3,71	3,59	3,53	3,49	3,47	3,45	3,43	3,42	3,41	3,41	3,40
220	240	230	18,91	20,67	16,00	9,17	6,66	5,75	5,28	5,00	4,80	4,66	4,56	4,48	4,41	4,36	4,31
240	260	250	17,84	26,86	23,71	3,76	4,01	4,10	4,14	4,17	4,19	4,20	4,21	4,22	4,23	4,23	4,24
260	280	270	0,00	0,00	0,07	4,32	4,53	4,60	4,64	4,66	4,68	4,69	4,70	4,71	4,71	4,72	4,72
280	300	290	0,00	0,00	1,51	4,60	4,90	5,01	5,06	5,10	5,12	5,14	5,15	5,16	5,17	5,17	5,18
300	320	310	0,00	0,00	2,15	5,02	5,34	5,46	5,52	5,56	5,59	5,60	5,62	5,63	5,64	5,64	5,65
320	340	330	0,00	0,00	0,00	5,44	5,79	5,92	5,98	6,02	6,05	6,07	6,08	6,10	6,11	6,11	6,12
340	360	350	0,00	0,00	0,75	6,13	6,38	6,47	6,52	6,55	6,57	6,58	6,59	6,60	6,61	6,61	6,62
360	380	370	0,00	0,00	0,75	6,30	6,70	6,84	6,91	6,96	6,99	7,01	7,03	7,04	7,05	7,06	7,06
380	400	390	2,44	6,87	5,90	7,28	7,44	7,50	7,53	7,54	7,56	7,56	7,57	7,58	7,58	7,58	7,59
400	420	410	0,00	0,00	0,00	7,11	7,57	7,74	7,82	7,88	7,91	7,94	7,96	7,97	7,98	7,99	8,00
420	440	430	0,00	0,00	0,00	7,53	8,01	8,19	8,28	8,34	8,38	8,40	8,43	8,44	8,45	8,46	8,47
440	460	450	0,00	0,00	0,00	7,94	8,46	8,65	8,74	8,80	8,84	8,87	8,89	8,91	8,92	8,93	8,94
460	480	470	0,00	0,00	0,00	8,36	8,91	9,10	9,20	9,27	9,31	9,34	9,36	9,38	9,39	9,41	9,41

Tabla 6. Espectro de autonomía calculado para cada año en el escenario TEC Rápido

Anexo I. b - Cálculo del espectro de capacidad de las baterías

A continuación, se incluyen el cálculo de la capacidad media de la batería para cada rango de autonomía y a la estimación del espectro empleada para dicho cálculo.

ESPECTRO DE CAPACIDAD DE LAS BATERÍAS (kWh)				
RANGO (km)		Xi	Media real	Valor estimado
80	100	90	13,09	13,27
100	120	110	22,40	16,95
120	140	130	13,44	20,19
140	160	150	23,20	22,93
160	180	170	28,64	26,35
180	200	190	0,00	32,00
200	220	210	32,00	34,41
220	240	230	29,41	36,37
240	260	250	32,80	39,61
260	280	270	76,00	41,80
280	300	290	40,00	45,00
300	320	310	49,60	49,00
320	340	330	0,00	51,20
340	360	350	51,20	60,00
360	380	370	51,20	70,00
380	400	390	77,33	77,00
400	420	410	0,00	80,00
420	440	430	0,00	84,00
440	460	450	0,00	86,00
460	480	470	0,00	90,00

Tabla 7. Espectro de capacidad de las baterías

Anexo I. c - Cálculo del IMD de vehículos eléctricos circulante por cada tramo de la carretera estudiada

En primera estancia se recogen los valores de número de vehículos totales, de combustión y eléctricos que se estima conformarán el parque automovilístico cada año. Estos valores aparecen recogidos en las tablas a continuación.

Las celdas en gris identifican aquellos valores que no han sido obtenidos del estudio de Cambridge Analytics (CAMB18), sino que fueron obtenidos de series históricas de la DGT (DGT_19) o del EAFO (EAFO19).

COCHES ELÉCTRICOS				COCHES COMBUSTIÓN INTERNA				NÚMERO TOTAL DE COCHES			
NÚMERO DE COCHES				NÚMERO DE COCHES				NÚMERO DE COCHES			
AÑO	PA	TEC	TEC Rápido	AÑO	PA	TEC	TEC Rápido	AÑO	PA	TEC	TEC Rápido
2013	2.021	2.021	2.021	2013	22.017.909	22.024.538	22.024.538	2013	22.024.538	22.024.538	22.024.538
2014	2.832	2.832	2.832	2014	22.021.597	22.029.512	22.029.512	2014	22.029.512	22.029.512	22.029.512
2015	4.480	4.480	4.480	2015	22.342.869	22.355.549	22.355.549	2015	22.355.549	22.355.549	22.355.549
2016	6.484	6.484	6.484	2016	22.859.216	22.876.830	22.876.830	2016	22.876.830	22.876.830	22.876.830
2017	10.145	10.145	10.145	2017	23.470.533	23.500.401	23.500.401	2017	23.500.401	23.500.401	23.500.401
2018	16.407	16.407	16.407	2018	21.963.504	21.985.401	21.897.810	2018	23.014.599	22.248.175	22.105.839
2019	19.216	19.216	19.216	2019	21.810.219	21.854.015	21.678.832	2019	23.868.613	22.160.584	22.094.891
2020	97.199	119.097	140.995	2020	21.558.394	21.602.190	21.405.109	2020	22.937.956	22.116.788	21.996.350
2021	175.182	218.978	262.774	2021	21.306.569	21.350.365	21.131.387	2021	22.007.299	22.072.993	21.897.810
2022	229.927	383.212	470.803	2022	21.000.000	20.912.409	20.638.686	2022	21.952.555	21.985.401	21.843.066
2023	284.672	547.445	678.832	2023	20.693.431	20.474.453	20.145.985	2023	21.897.810	21.897.810	21.788.321
2024	459.854	711.679	952.555	2024	20.310.219	20.036.496	19.489.051	2024	21.897.810	21.930.657	21.821.168
2025	635.036	875.912	1.226.277	2025	19.927.007	19.598.540	18.832.117	2025	21.897.810	21.963.504	21.854.015
2026	755.474	1.094.891	1.587.591	2026	19.565.693	19.072.993	18.087.591	2026	21.941.606	21.974.453	21.930.657
2027	875.912	1.313.869	1.948.905	2027	19.204.380	18.547.445	17.343.066	2027	21.985.401	21.985.401	22.007.299
2028	1.040.146	1.587.591	2.310.219	2028	18.766.423	18.054.745	16.412.409	2028	22.149.635	22.149.635	22.127.737
2029	1.204.380	1.861.314	2.671.533	2029	18.328.467	17.562.044	15.481.752	2029	22.313.869	22.313.869	22.248.175
2030	1.390.511	2.124.088	3.142.336	2030	17.868.613	16.861.314	14.452.555	2030	22.423.358	22.445.255	22.379.562
2031	1.576.642	2.386.861	3.613.139	2031	17.408.759	16.160.584	13.423.358	2031	22.532.847	22.576.642	22.510.949
2032	1.762.774	2.781.022	4.259.124	2032	16.948.905	15.416.058	12.350.365	2032	22.653.285	22.664.234	22.642.336
2033	1.948.905	3.175.182	4.905.109	2033	16.489.051	14.671.533	11.277.372	2033	22.773.723	22.751.825	22.773.723
2034	2.135.036	3.635.036	5.463.504	2034	16.094.891	13.762.774	10.335.766	2034	22.828.467	22.817.518	22.828.467
2035	2.321.168	4.094.891	6.021.898	2035	15.700.730	12.854.015	9.394.161	2035	22.883.212	22.883.212	22.883.212
2036	2.364.964	4.686.131	6.689.781	2036	15.208.029	11.846.715	8.408.759	2036	22.937.956	22.905.109	22.937.956
2037	2.408.759	5.277.372	7.357.664	2037	14.715.328	10.839.416	7.423.358	2037	22.992.701	22.927.007	22.992.701
2038	2.518.248	5.835.766	8.080.292	2038	14.364.964	9.930.657	6.569.343	2038	23.102.190	23.014.599	23.047.445
2039	2.627.737	6.394.161	8.802.920	2039	14.014.599	9.021.898	5.715.328	2039	23.211.679	23.102.190	23.102.190
2040	2.737.226	7.083.942	9.405.109	2040	13.762.774	8.113.139	5.025.547	2040	23.266.423	23.233.577	23.211.679
2041	2.846.715	7.773.723	10.007.299	2041	13.510.949	7.204.380	4.335.766	2041	23.321.168	23.364.964	23.321.168
2042	2.901.460	8.375.912	10.729.927	2042	13.324.818	6.481.752	3.854.015	2042	23.430.657	23.485.401	23.430.657
2043	2.956.204	8.978.102	11.452.555	2043	13.138.686	5.759.124	3.372.263	2043	23.540.146	23.605.839	23.540.146
2044	3.032.847	9.667.883	11.857.664	2044	12.963.504	5.156.934	2.978.102	2044	23.649.635	23.682.482	23.594.891
2045	3.109.489	10.357.664	12.262.774	2045	12.788.321	4.554.745	2.583.942	2045	23.759.124	23.759.124	23.649.635
2046	3.153.285	10.970.803	12.755.474	2046	12.656.934	3.864.964	2.244.526	2046	23.813.869	23.791.971	23.693.431
2047	3.197.080	11.583.942	13.248.175	2047	12.525.547	3.175.182	1.905.109	2047	23.868.613	23.824.818	23.737.226
2048	3.240.876	11.759.124	13.675.182	2048	12.470.803	3.043.796	1.642.336	2048	23.945.255	23.846.715	23.802.920
2049	3.284.672	11.934.307	14.102.190	2049	12.416.058	2.912.409	1.379.562	2049	24.021.898	23.868.613	23.868.613
2050	3.328.467	12.109.489	14.529.197	2050	12.361.314	2.781.022	1.116.788	2050	24.098.540	23.890.511	23.934.307

Tabla 8. Datos del parque automovilístico por año

Los resultados obtenidos sobre la estimación del IMD de vehículos circulando por cada uno de los tramos de la autovía A3 se presentan en la tabla a continuación.

Se incluye primero la tabla con las estimaciones para coches eléctricos, seguida de otra tabla que recoge los valores para número total de coches. En esta segunda tabla, las celdas en verde representan los valores reales a partir de los cuales se han llevado a cabo el resto de las predicciones.

El número total de vehículos de cada año ha sido extraído de los valores recogidos en la Tabla 8.

NÚMERO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN CADA PUNTO KILOMÉTRICO																				
KM	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	TOTAL
2016	28	25	15	10	9	7	8	7	7	6	6	6	5	5	5	6	7	8	9	6.484
2017	43	38	24	18	14	12	13	11	11	11	11	9	8	8	8	9	11	12	13	10.145
2018	70	61	39	30	23	20	21	19	17	17	17	15	13	13	13	14	18	20	21	16.407
2019	82	71	46	35	27	23	25	22	20	20	20	17	15	15	16	17	21	23	25	19.216
2020	600	522	336	255	194	171	180	160	148	148	146	127	108	108	115	123	154	172	183	140.995
2021	1.118	973	627	474	362	319	336	297	276	276	272	237	202	202	214	229	287	320	340	262.774
2022	2.003	1.744	1.123	850	649	572	601	533	495	494	488	425	361	361	383	410	515	574	610	470.803
2023	2.889	2.514	1.619	1.225	936	825	867	768	714	713	704	612	521	521	552	591	742	827	879	678.832
2024	4.053	3.528	2.271	1.720	1.314	1.157	1.217	1.078	1.002	1.000	988	859	731	731	775	829	1.042	1.161	1.233	952.555
2025	5.218	4.542	2.924	2.214	1.691	1.490	1.566	1.388	1.290	1.288	1.271	1.106	941	941	997	1.067	1.341	1.495	1.588	1.226.277
2026	6.756	5.880	3.786	2.866	2.190	1.929	2.028	1.797	1.670	1.667	1.646	1.432	1.219	1.219	1.291	1.381	1.736	1.935	2.056	1.587.591
2027	8.293	7.218	4.647	3.518	2.688	2.368	2.489	2.206	2.050	2.046	2.021	1.758	1.496	1.496	1.585	1.696	2.131	2.376	2.524	1.948.905
2028	9.831	8.556	5.509	4.170	3.186	2.807	2.951	2.615	2.430	2.426	2.395	2.084	1.773	1.773	1.879	2.010	2.527	2.816	2.992	2.310.219
2029	11.368	9.895	6.370	4.823	3.685	3.246	3.413	3.024	2.810	2.805	2.770	2.410	2.051	2.051	2.173	2.324	2.922	3.256	3.459	2.671.533
2030	13.371	11.638	7.493	5.672	4.334	3.818	4.014	3.557	3.305	3.299	3.258	2.835	2.412	2.412	2.556	2.734	3.437	3.830	4.069	3.142.336

Tabla 9. Ejemplo de la estimación del IMD de vehículos eléctricos circulando en cada tramo de la autovía para cada año estudiado

NÚMERO DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN EN CADA PUNTO KILOMÉTRICO																					
KM	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	TOTAL	
AÑO	2016	100.000	87.643	53.426	33.965	31.169	26.058	28.999	25.167	23.521	22.298	22.544	19.717	16.888	17.460	19.022	20.638	25.458	28.277	30.045	22.876.830
	2017	100.000	87.039	56.036	42.422	32.412	28.551	30.019	26.600	24.717	24.674	24.364	21.203	18.040	18.040	19.115	20.445	25.702	28.645	30.431	23.500.401
	2018	94.066	81.874	52.711	39.905	30.489	26.857	28.238	25.022	23.250	23.210	22.918	19.945	16.969	16.969	17.981	19.232	24.177	26.945	28.625	22.105.839
	2019	94.019	81.833	52.685	39.885	30.474	26.843	28.224	25.009	23.239	23.198	22.907	19.935	16.961	16.961	17.972	19.222	24.165	26.932	28.611	22.094.891
	2020	93.600	81.468	52.450	39.707	30.338	26.724	28.098	24.898	23.135	23.095	22.805	19.846	16.885	16.885	17.892	19.136	24.057	26.812	28.483	21.996.350
	2021	93.181	81.103	52.215	39.529	30.202	26.604	27.972	24.786	23.031	22.991	22.703	19.757	16.810	16.810	17.811	19.051	23.949	26.692	28.356	21.897.810
	2022	92.948	80.901	52.084	39.430	30.126	26.537	27.902	24.724	22.974	22.934	22.646	19.708	16.768	16.768	17.767	19.003	23.889	26.625	28.285	21.843.066
	2023	92.715	80.698	51.954	39.331	30.051	26.471	27.832	24.662	22.916	22.876	22.589	19.658	16.726	16.726	17.722	18.956	23.830	26.558	28.214	21.788.321
	2024	92.854	80.820	52.032	39.391	30.096	26.511	27.874	24.699	22.951	22.911	22.623	19.688	16.751	16.751	17.749	18.984	23.865	26.598	28.257	21.821.168
	2025	92.994	80.941	52.110	39.450	30.141	26.551	27.916	24.736	22.985	22.945	22.657	19.718	16.776	16.776	17.776	19.013	23.901	26.638	28.299	21.854.015
	2026	93.320	81.225	52.293	39.588	30.247	26.644	28.014	24.823	23.066	23.026	22.737	19.787	16.835	16.835	17.838	19.079	23.985	26.732	28.398	21.930.657
	2027	93.646	81.509	52.476	39.727	30.353	26.737	28.112	24.910	23.147	23.106	22.816	19.856	16.894	16.894	17.901	19.146	24.069	26.825	28.498	22.007.299
	2028	94.159	81.955	52.763	39.944	30.519	26.883	28.266	25.046	23.273	23.233	22.941	19.965	16.986	16.986	17.998	19.251	24.201	26.972	28.654	22.127.737
	2029	94.671	82.401	53.050	40.162	30.685	27.030	28.419	25.183	23.400	23.359	23.066	20.073	17.079	17.079	18.096	19.356	24.332	27.119	28.809	22.248.175
2030	95.231	82.888	53.363	40.399	30.866	27.189	28.587	25.331	23.538	23.497	23.202	20.192	17.180	17.180	18.203	19.470	24.476	27.279	28.980	22.379.562	

Tabla 10. Ejemplo de la estimación del IMD de vehículos totales circulando en cada tramo de la autovía para cada año estudiado

Anexo II - Funcionamiento de la herramienta

En este anexo se incluyen imágenes del funcionamiento del programa para clarificar su uso y cómo lleva a cabo los cálculos necesarios para obtención de los resultados.

Anexo II. a - Cálculo de estacionamientos y de demanda energética

Se incluye a continuación las tablas con la asignación de los tramos a sus respectivos grupos y el cálculo de los coches que formarán parte de cada uno de ellos. La primera tabla recoge el cálculo en el sentido salida (Madrid – Valencia) y la segunda el sentido entrada.

SENTIDO SALIDA																				
Punto kilométrico																				
km (Inicio del tramo)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	NEUTRA
Nº coches en el tramo	207	180	116	88	67	59	62	55	51	51	50	44	37	37	40	42	53	59	63	-
Variación del tramo		27	64	28	21	8	3	7	4	0	1	7	7	0	2	3	11	6	4	37
S/E		S	S	S	S	S	E	S	S	S	S	S	S	0	E	E	E	E	E	N

SENTIDO ENTRADA																				
Punto kilométrico																				
km (Inicio del tramo)	360	340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0	NEUTRA
Nº coches en el tramo	63	59	53	42	40	37	37	44	50	51	51	55	62	59	67	88	116	180	207	-
Variación del tramo		4	6	11	3	2	0	7	7	1	0	4	7	3	8	21	28	64	27	37
S/E		S	S	S	S	S	0	E	E	E	E	E	E	S	E	E	E	E	E	N

Tabla 11. Tablas con la asignación de los distintos tramos para ambos sentidos de circulación

Anexo II. b - Cálculo de estacionamientos y de demanda energética

En las tablas a continuación se incluyen ejemplos del cálculo de estacionamientos y de la demanda energética para cada uno de los tramos de la autovía A3 estudiada.

En ninguna de las tablas se muestra el cálculo completo, sino un extracto con una muestra de cada uno de los tres tipos de grupos, una entrada, una salida y la franja neutra, para remarcar sus diferencias y su funcionamiento en el programa.

E/S	#	RANGO	%	NÚMERO DE VEHÍCULOS ESTACIONADOS PARA REPOSTAR EN CADA TRAMO																						
				340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0					
S	9	240	80 100	1,22	0	0	0	0,115	0	0	0	0,058	0,058	0	0	0,038	0	0	0	0	0	0				
			100 120	0,90	0	0	0	0	0,085	0	0	0	0	0,043	0,043	0	0	0	0	0	0	0	0			
			120 140	2,71	0	0	0	0	0	0,257	0	0	0	0	0	0,129	0	0	0	0	0	0	0			
			140 160	1,87	0	0	0	0	0	0	0,177	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
			160 180	2,23	0	0	0	0	0	0	0	0,211	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			180 200	2,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0,253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		LÍMITE SALIDA	200 220	3,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			220 240	6,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,632	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			240 260	4,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,38	0	0	0	0	0	0	0	0		
			260 280	4,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			280 300	4,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			300 320	5,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		0	320 340	5,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			340 360	6,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			360 380	6,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			380 400	7,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			400 420	7,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			420 440	8,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		LÍMITE ENTRADA	440 460	8,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			460 480	8,91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			80 100	1,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,054	0	0	0,027	0,027	0	0	0,018	0,018	0	0		
			100 120	0,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0	0	0	0,02	0,02	0	0	0	0		
			120 140	2,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,119	0	0	0	0	0,06	0,06	0	0		
			140 160	1,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,082	0	0	0	0	0	0	0	0		
E	4	360	160 180	2,23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,098	0	0	0	0	0	0	0				
			180 200	2,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,118	0	0	0	0	0	0			
			200 220	3,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,164	0	0	0	0	0			
			220 240	6,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,293	0	0	0	0			
			240 260	4,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,176	0	0	0	0		
			260 280	4,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,199	0	0	0		
		LÍMITE SALIDA	280 300	4,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			300 320	5,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			320 340	5,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			340 360	6,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			360 380	6,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			380 400	7,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		LÍMITE ENTRADA	400 420	7,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			420 440	8,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			440 460	8,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			460 480	8,91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			80 100	1,22	0	0	0	0,659	0	0	0	0,329	0,329	0	0	0,22	0,22	0,22	0	0	0	0	0	0		
			100 120	0,90	0	0	0	0	0,486	0	0	0	0	0,243	0,243	0	0	0	0,162	0,162	0,162	0	0	0		
		N	54	360	120 140	2,71	0	0	0	0	0	1,468	0	0	0	0	0,734	0,734	0	0	0	0,489	0,489	0		
					140 160	1,87	0	0	0	0	0	0	0	1,01	0	0	0	0	0	0,505	0,505	0	0	0	0	
					160 180	2,23	0	0	0	0	0	0	0	0	1,205	0	0	0	0	0	0	0,602	0,602	0	0	
					180 200	2,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,446	0	0	0	0	0	0	0	0	0,723	
					200 220	3,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
					220 240	6,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,607	0	0	0	0	0	0	0	0
LÍMITE SALIDA	240 260			4,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,169	0	0	0	0	0	0	0		
	260 280			4,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,45	0	0	0	0	0	0		
	280 300			4,90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,651	0	0	0	0	0		
	300 320			5,34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,892	0	0	0	0		
	320 340			5,79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,133	0	0	0		
	340 360			6,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,454	0	0		
LÍMITE ENTRADA	360 380			6,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,624		
	380 400			7,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	400 420			7,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	420 440			8,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	440 460			8,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	460 480			8,91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tabla 12. Resultados ejemplo del cálculo de estacionamientos

E/S	#	DEMANDA ENERGÉTICA PARA REPOSTAR EN CADA TRAMO																								
		RANGO	%	BAT	340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0				
E	7	0	80	100	2,44	13,27	0	0	0	0	0	0	0	0	2,12	0	0	0	1,06	1,06	0	0	0,71			
			100	120	0,81	16,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45	0,45	0		
			120	140	4,84	20,19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,39	0	0	0	0	0	0	0	3,19	
			140	160	1,80	22,93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,70	0	0	0	0	0	0	0	
			160	180	1,97	26,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,40	0	0	0	0	0	
		LÍMITE SALIDA	180	200	2,36	32,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,95	0	0	0	0		
			200	220	4,34	34,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,77	0	0	0		
			220	240	11,39	36,37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,10	0	0		
			240	260	3,55	39,61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,19	0		
			260	280	4,14	41,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		240	280	300	4,34	45,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			300	320	4,73	49,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			320	340	5,12	51,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			340	360	5,91	60,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			360	380	5,96	70,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		LÍMITE ENTRADA	380	400	7,14	77,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			400	420	6,70	80,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			420	440	7,09	84,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			440	460	7,49	86,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			460	480	7,88	90,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		S	4	100	80	100	2,44	13,27	0	0	0	0,98	0	0	0	0,49	0,49	0	0	0,33	0,33	0	0	0	0	
					100	120	0,81	16,95	0	0	0	0	0,41	0	0	0	0	0	0,21	0,21	0	0	0	0	0	0
					120	140	4,84	20,19	0	0	0	0	0	2,96	0	0	0	0	0	0	1,48	1,48	0	0	0	0
					140	160	1,80	22,93	0	0	0	0	0	0	1,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	180				1,97	26,35	0	0	0	0	0	0	0	1,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
LÍMITE SALIDA	180			200	2,36	32,00	0	0	0	0	0	0	0	0	2,30	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	200			220	4,34	34,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,54	0	0	0	0	0	0	0	0		
	220			240	11,39	36,37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,58	0	0	0	0	0	0	0		
	240			260	3,55	39,61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,27	0	0	0	0	0	0		
	260			280	4,14	41,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,25	0	0	0	0	0		
360	280			300	4,34	45,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	300			320	4,73	49,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	320			340	5,12	51,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	340			360	5,91	60,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	360			380	5,96	70,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
LÍMITE ENTRADA	380			400	7,14	77,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	400			420	6,70	80,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	420			440	7,09	84,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	440			460	7,49	86,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	460			480	7,88	90,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
N	37			0	80	100	2,44	13,27	0	0	0	12,09	0	0	0	6,05	6,05	0	0	4,03	4,03	4,03	0	0	0	
					100	120	0,81	16,95	0	0	0	0	5,10	0	0	0	0	2,55	2,55	0	0	0	1,70	1,70	1,70	0
					120	140	4,84	20,19	0	0	0	0	0	36,43	0	0	0	0	0	18,22	18,22	0	0	0	0	12,14
					140	160	1,80	22,93	0	0	0	0	0	0	15,43	0	0	0	0	0	7,71	7,71	0	0	0	0
		160	180		1,97	26,35	0	0	0	0	0	0	0	19,37	0	0	0	0	0	0	9,68	9,68	0	0		
		LÍMITE SALIDA	180	200	2,36	32,00	0	0	0	0	0	0	0	0	28,23	0	0	0	0	0	0	0	0	14,11		
			200	220	4,34	34,41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55,75	0	0	0	0	0	0	0	0		
			220	240	11,39	36,37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	154,6	0	0	0	0	0	0	0		
			240	260	3,55	39,61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52,42	0	0	0	0	0	0		
			260	280	4,14	41,80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64,53	0	0	0	0	0		
		360	280	300	4,34	45,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72,78	0	0	0	0	0		
			300	320	4,73	49,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86,45	0	0	0	0	0		
			320	340	5,12	51,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97,86	0	0	0	0		
			340	360	5,91	60,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132,3	0	0		
			360	380	5,96	70,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155,6	0		
		LÍMITE ENTRADA	380	400	7,14	77,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			400	420	6,70	80,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			420	440	7,09	84,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			440	460	7,49	86,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			460	480	7,88	90,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tabla 13. Resultados ejemplo del cálculo de demanda energética

Como se puede comprobar, la diferencia entre ambos radica en la multiplicación de los resultados por la capacidad asociada a cada tramo en el cálculo de la demanda energética.

Anexo II. c - Acumulado de demanda para el modelo económico

En este apartado se incluyen las tablas que recogen el acumulado anual de demanda energética para cada uno de los tres escenarios. Este cálculo se emplea posteriormente en los modelos económicos para identificar la necesidad energética anual en el local escogido.

ACUMULADO ANUAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA A LO LARGO DE LA CARRETERA ESTUDIADA EN EL ESCENARIO PA (kWh/AÑO)																		
XI	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
2018	12.942	8.952	4.459	10.503	4.791	19.487	33.039	19.402	17.073	20.056	21.964	33.049	13.194	3.552	7.466	2.062	4.271	4.311
2019	16.923	14.244	8.450	10.298	6.755	14.462	8.602	20.825	8.849	9.209	24.542	7.832	10.923	5.993	7.966	8.020	9.867	12.403
2020	85.901	70.063	47.398	50.375	37.404	59.345	41.299	76.282	41.013	42.503	87.976	38.324	46.500	33.768	41.808	44.248	54.574	68.923
2021	155.044	124.790	88.902	89.509	69.831	96.639	72.780	115.773	71.120	73.557	131.535	68.103	77.268	63.440	76.480	82.499	101.845	128.844
2022	203.655	162.721	119.181	116.560	93.389	119.428	94.337	136.361	91.336	94.356	153.232	88.690	96.718	85.118	101.191	110.254	136.175	172.429
2023	252.269	200.632	149.507	143.594	116.980	142.076	115.871	156.651	111.513	115.113	174.559	109.264	116.079	106.831	125.918	138.048	170.553	216.077
2024	407.651	323.173	243.680	231.160	190.476	223.073	186.145	239.514	178.392	184.052	265.128	175.901	183.434	174.182	204.110	224.715	277.683	351.930
2025	563.087	445.353	338.698	318.415	264.558	301.564	256.017	317.103	244.591	252.251	349.133	242.302	249.202	242.160	282.577	312.050	385.660	488.907
2026	670.007	528.970	404.917	378.073	316.112	352.871	303.629	364.859	289.383	298.355	399.933	287.704	292.734	289.559	336.814	372.800	460.791	584.268
2027	776.936	612.526	471.280	437.677	367.766	403.751	351.172	411.716	334.060	344.332	449.614	333.065	335.996	337.064	391.097	433.665	536.066	679.821
2028	922.723	726.632	561.382	519.101	437.930	474.297	416.191	478.062	395.297	407.372	520.410	395.032	395.727	401.553	464.992	516.351	638.321	809.599
2029	1.068.523	840.655	651.681	600.453	508.231	544.260	481.116	543.183	456.377	470.240	589.681	456.943	455.089	466.187	538.952	599.193	740.773	939.637
2030	1.233.761	969.889	754.003	692.657	587.893	623.602	554.706	617.092	525.614	541.505	668.320	527.114	522.398	539.427	622.766	693.067	856.868	1.086.991
TOTAL	6.369.423	5.028.600	3.843.539	3.598.375	3.002.116	3.374.855	2.914.903	3.496.823	2.764.621	2.852.899	3.836.030	2.763.323	2.795.263	2.748.836	3.202.137	3.536.971	4.373.444	5.544.141
MEDIA	489.956	386.815	295.657	276.798	230.932	259.604	224.223	268.986	212.663	219.454	295.079	212.563	215.020	211.449	246.318	272.075	336.419	426.472
# DE LOCALES RECOMENDADO	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4

Tabla 14. Resultados del cálculo de necesidad de carga para cada año en el escenario PA

ACUMULADO ANUAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA A LO LARGO DE LA CARRETERA ESTUDIADA EN EL ESCENARIO TEC (kWh/AÑO)																		
XI	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
2018	12.942	8.952	4.459	10.503	4.791	19.487	33.039	19.402	17.073	20.056	21.964	33.049	13.194	3.552	7.466	2.062	4.271	4.311
2019	16.982	13.851	9.370	9.959	7.395	11.732	8.165	15.081	8.108	8.403	17.393	7.576	9.193	6.676	8.265	8.748	10.789	13.626
2020	105.489	84.286	61.733	60.376	48.373	61.861	48.864	70.632	47.310	48.874	79.371	45.940	50.098	44.089	52.415	57.109	70.536	89.314
2021	194.120	153.892	116.038	110.076	90.703	106.225	88.640	114.054	84.949	87.644	126.252	83.762	87.350	82.944	97.195	107.007	132.230	167.586
2022	339.859	268.318	205.392	191.776	160.347	178.992	154.015	185.073	146.789	151.339	202.865	145.937	148.488	146.878	170.848	189.102	233.734	296.368
2023	485.644	382.438	295.464	273.211	230.489	249.630	219.048	251.612	208.051	214.406	273.900	207.911	208.277	211.344	244.733	271.764	335.958	426.105
2024	631.453	496.400	385.907	354.510	300.890	319.167	283.905	315.835	269.015	277.148	342.053	269.783	267.369	276.085	318.739	354.719	438.554	556.334
2025	777.275	610.269	476.567	435.728	371.441	388.061	348.658	378.706	329.805	339.700	408.524	331.594	326.054	340.987	392.815	437.846	541.367	686.852
2026	971.691	762.189	597.225	544.101	465.356	480.576	435.102	463.914	411.036	423.297	498.870	414.071	404.716	427.358	491.511	548.506	678.229	860.581
2027	1.166.121	914.019	718.094	652.396	559.417	572.464	521.445	547.804	492.097	506.709	587.574	496.489	482.980	513.887	590.276	659.334	815.304	1.034.591
2028	1.409.152	1.103.849	869.081	787.802	676.925	687.621	629.422	653.289	593.504	611.061	699.230	599.539	580.998	621.973	713.700	797.790	986.546	1.251.971
2029	1.652.195	1.293.599	1.020.255	923.139	794.563	802.221	737.309	757.602	694.759	715.249	809.427	702.536	678.664	730.199	837.185	936.394	1.157.977	1.469.601
2030	1.885.527	1.475.682	1.165.563	1.052.995	907.621	911.700	840.795	856.616	791.819	815.111	913.813	801.364	772.083	834.229	955.789	1.069.597	1.322.731	1.678.766
TOTAL	9.648.449	7.567.743	5.925.149	5.406.573	4.618.311	4.789.738	4.348.406	4.629.619	4.094.316	4.218.997	4.981.235	4.139.551	4.029.463	4.240.200	4.880.938	5.439.977	6.728.227	8.536.006
MEDIA	742.188	582.134	455.781	415.890	355.255	368.441	334.493	356.125	314.947	324.538	383.172	318.427	309.959	326.169	375.457	418.460	517.556	656.616
# DE LOCALES RECOMENDADO	6	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5

Tabla 15. Resultados del cálculo de necesidad de carga para cada año en el escenario TEC

UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

ACUMULADO ANUAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA A LO LARGO DE LA CARRETERA ESTUDIADA EN EL ESCENARIO TEC RÁPIDO (kWh/AÑO)																		
XI	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
2018	12.942	8.952	4.459	10.503	4.791	19.487	33.039	19.402	17.073	20.056	21.964	33.049	13.194	3.552	7.466	2.062	4.271	4.311
2019	17.007	13.688	9.752	9.818	7.660	10.600	7.983	12.699	7.801	8.069	14.428	7.470	8.476	6.959	8.389	9.049	11.171	14.133
2020	124.989	99.087	74.714	70.875	58.401	68.396	57.073	73.437	54.696	56.432	81.290	53.933	56.242	53.406	62.582	68.899	85.140	107.905
2021	233.081	183.758	141.384	131.303	110.330	121.125	105.352	123.515	100.218	103.300	134.884	99.920	100.799	101.119	117.329	130.099	160.820	203.946
2022	417.730	328.388	255.293	234.522	199.050	211.141	187.814	208.937	177.964	183.344	226.282	178.472	176.875	182.641	210.858	234.660	290.121	368.036
2023	602.420	472.745	369.840	337.505	288.215	299.262	269.972	290.372	255.196	262.829	312.716	256.846	251.750	264.636	304.594	339.726	420.062	532.976
2024	845.438	662.664	520.618	472.987	405.578	415.037	378.048	397.158	356.770	367.364	425.991	359.954	350.161	372.568	427.950	478.017	591.095	750.079
2025	1.088.478	852.432	671.749	608.340	523.186	529.764	485.955	501.740	458.061	471.589	536.523	462.964	447.907	480.762	551.421	616.587	762.483	967.651
2026	1.409.286	1.102.958	871.168	787.033	678.376	681.426	628.429	640.254	591.824	609.232	683.004	598.958	577.072	623.522	714.379	799.441	988.639	1.254.748
2027	1.730.112	1.353.365	1.070.865	965.623	833.761	832.261	770.770	777.030	725.363	746.631	827.322	734.874	705.714	766.489	877.426	982.515	1.215.075	1.542.214
2028	2.050.950	1.603.689	1.270.759	1.144.140	989.281	982.515	913.018	912.582	858.744	883.858	970.117	870.735	833.988	909.601	1.040.538	1.165.743	1.441.708	1.829.942
2029	2.371.798	1.853.951	1.470.795	1.322.605	1.144.901	1.132.343	1.055.198	1.047.240	992.010	1.020.960	1.111.798	1.006.557	961.992	1.052.820	1.203.696	1.349.085	1.668.484	2.117.859
2030	2.789.860	2.180.130	1.731.262	1.555.220	1.347.549	1.328.128	1.240.552	1.223.868	1.165.810	1.199.771	1.297.863	1.183.589	1.129.136	1.239.300	1.416.235	1.587.838	1.963.793	2.492.777
TOTAL	13.694.091	10.715.805	8.462.658	7.650.474	6.591.079	6.631.484	6.133.204	6.228.232	5.761.531	5.933.435	6.644.183	5.847.321	5.613.305	6.057.374	6.942.864	7.763.723	9.602.861	12.186.577
MEDIA	1.053.392	824.293	650.974	588.498	507.006	510.114	471.785	479.095	443.195	456.418	511.091	449.794	431.793	465.952	534.066	597.209	738.682	937.429
# DE UDCALES RECOMENDADO	9	7	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	6	8

Tabla 16. Resultados del cálculo de necesidad de carga para cada año en el escenario TEC R.

Anexo III - Resultados del caso estudio

En este anexo se recogen todos los resultados numéricos además de las tablas del acumulado anual para cada uno de los tres escenarios. Se recoge por tanto el cálculo del reparto de estacionamientos (en azul) y de la demanda energética (en rojo) para la autovía A3 analizada en el caso estudio.

Se presentan a continuación las tablas con los resultados numéricos, seguidas de dos gráficas, una con el acumulado anual y otra con el desglose de la aportación efectuada en cada sentido de circulación para el año 2020.

Anexo III. a - Escenario de Política Actual (PA)

DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTACIONAMIENTOS DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (VEHÍCULOS/DÍA)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0,00	0,00	0,00	2,22	0,56	3,00	1,12	1,76	1,91	2,45	6,09	3,03	2,85	2,37	2,34	2,74	2,93	3,57
ENTRADA	5,34	4,39	3,19	2,86	2,71	3,42	3,12	4,97	2,07	1,45	1,29	0,73	1,95	0,34	1,11	0,00	0,00	0,00
TOTAL	5,34	4,39	3,19	5,08	3,28	6,42	4,24	6,73	3,98	3,89	7,38	3,76	4,80	2,71	3,45	2,74	2,93	3,57

ACUMULADO ANUAL ESTACIONAMIENTOS DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (VEHÍCULOS/AÑO)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0	0	0	804	205	1.089	406	637	692	887	2.208	1.098	1.032	858	850	993	1.064	1.296
ENTRADA	1.934	1.591	1.157	1.039	983	1.238	1.131	1.802	752	525	467	264	708	124	402	0	0	0
TOTAL	1.934	1.591	1.157	1.843	1.188	2.327	1.537	2.439	1.444	1.412	2.675	1.362	1.740	982	1.252	993	1.064	1.296

Tabla 17. Distribución de los estacionamientos por tramos diaria y anual en el escenario PA

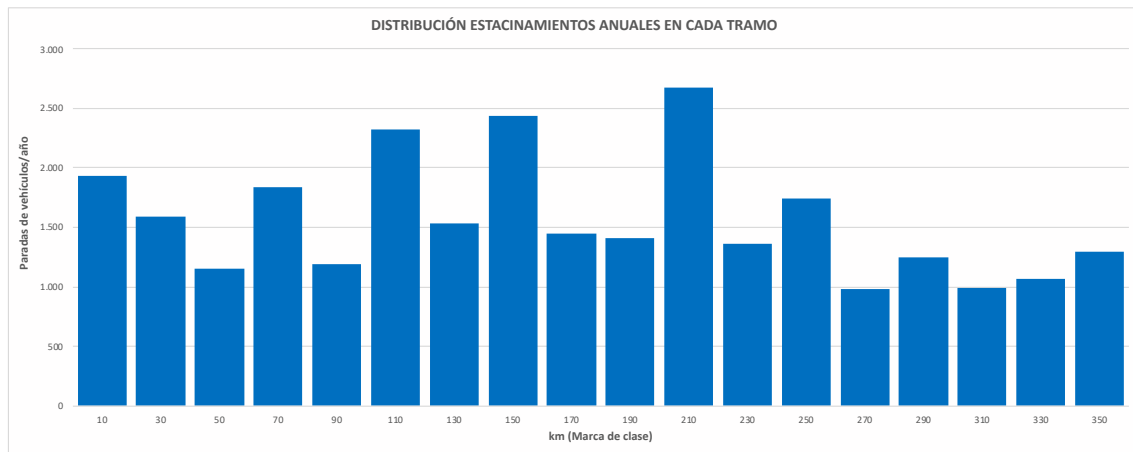


Figura 28. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario PA

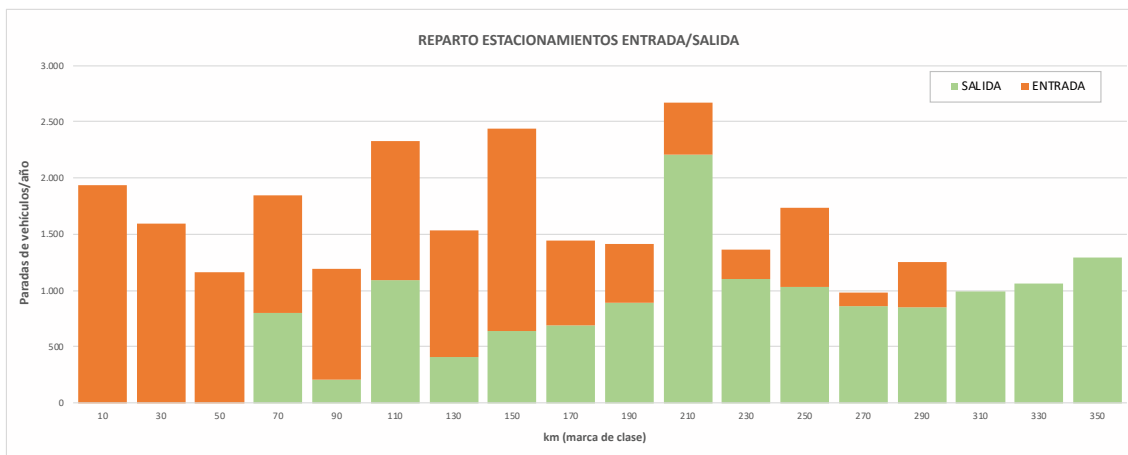


Figura 29. Desglose del reparto de estacionamientos por sentido de circulación en el escenario PA

DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (kWh/DÍA)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0,00	0,00	0,00	29,42	9,57	60,62	25,67	37,48	47,95	80,15	215,14	89,01	88,84	87,31	100,61	122,03	150,51	190,08
ENTRADA	236,90	193,22	130,72	109,50	93,58	103,04	88,23	172,90	65,16	37,07	27,48	16,68	39,40	5,81	14,69	0,00	0,00	0,00
TOTAL	236,90	193,22	0,00	138,93	103,15	163,67	113,90	210,38	113,11	117,22	242,63	105,69	128,24	93,13	115,30	122,03	150,51	190,08

ACUMULADO ANUAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (kWh/AÑO)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0	0	0	10.669	3.470	21.983	9.308	13.589	17.386	29.063	78.011	32.275	32.214	31.660	36.481	44.248	54.574	68.923
ENTRADA	85.901	70.063	47.398	39.706	33.934	37.363	31.991	62.694	23.628	13.440	9.966	6.049	14.285	2.108	5.327	0	0	0
TOTAL	85.901	70.063	47.398	50.375	37.404	59.345	41.299	76.282	41.013	42.503	87.976	38.324	46.500	33.768	41.808	44.248	54.574	68.923

Tabla 18. Distribución de la demanda energética por tramos diaria y anual en el escenario PA

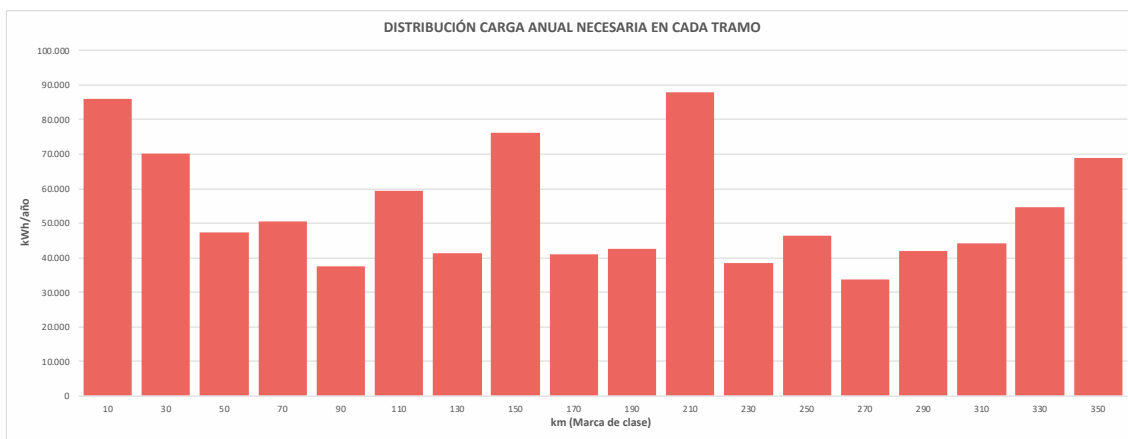


Figura 30. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario PA

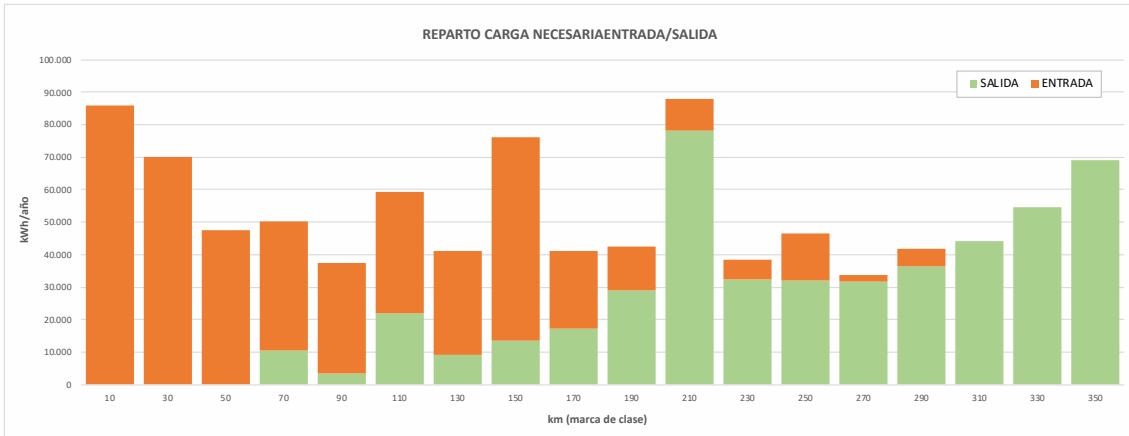


Figura 31. Desglose del reparto de la demanda energética por sentido de circulación en el escenario PA

Anexo III. b - Escenario Tecnológico (TEC)

DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTACIONAMIENTOS DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (VEHÍCULOS/DÍA)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0,00	0,00	0,00	1,73	0,75	2,51	1,41	1,98	2,16	2,73	5,30	3,32	3,12	2,95	3,08	3,50	3,75	4,38
ENTRADA	6,04	5,06	4,06	3,62	3,31	3,68	3,33	4,34	2,26	1,66	1,45	0,91	1,63	0,45	0,86	0,00	0,00	0,00
TOTAL	6,04	5,06	4,06	5,35	4,06	6,18	4,74	6,32	4,43	4,40	6,75	4,23	4,75	3,41	3,94	3,50	3,75	4,38

ACUMULADO ANUAL ESTACIONAMIENTOS DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (VEHÍCULOS/AÑO)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0	0	0	626	272	909	510	717	785	992	1.923	1.203	1.131	1.071	1.118	1.269	1.360	1.589
ENTRADA	2.189	1.834	1.473	1.313	1.201	1.333	1.209	1.575	820	603	526	331	590	165	313	0	0	0
TOTAL	2.189	1.834	1.473	1.939	1.472	2.241	1.719	2.292	1.605	1.595	2.449	1.534	1.721	1.236	1.430	1.269	1.360	1.589

Tabla 19. Distribución de los estacionamientos por tramos diaria y anual en el escenario TEC

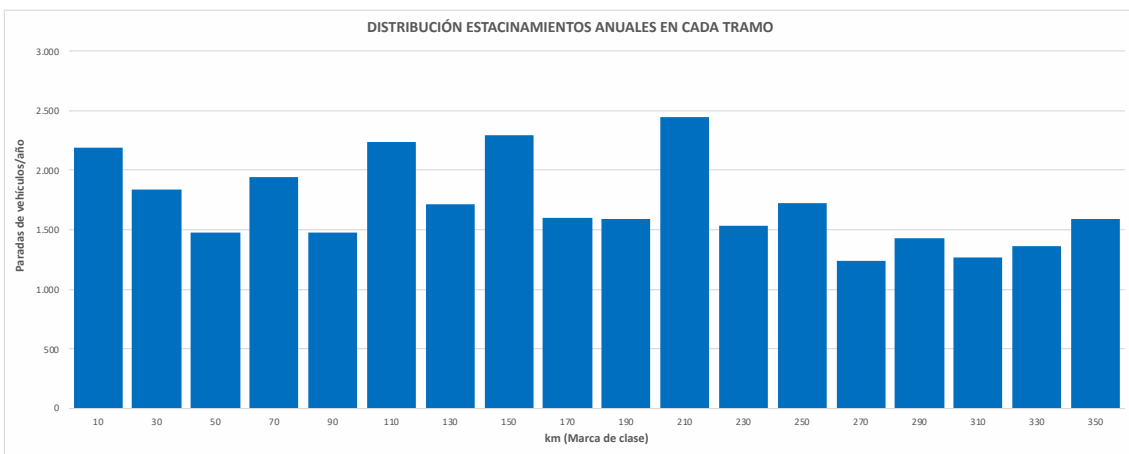


Figura 32. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario TEC

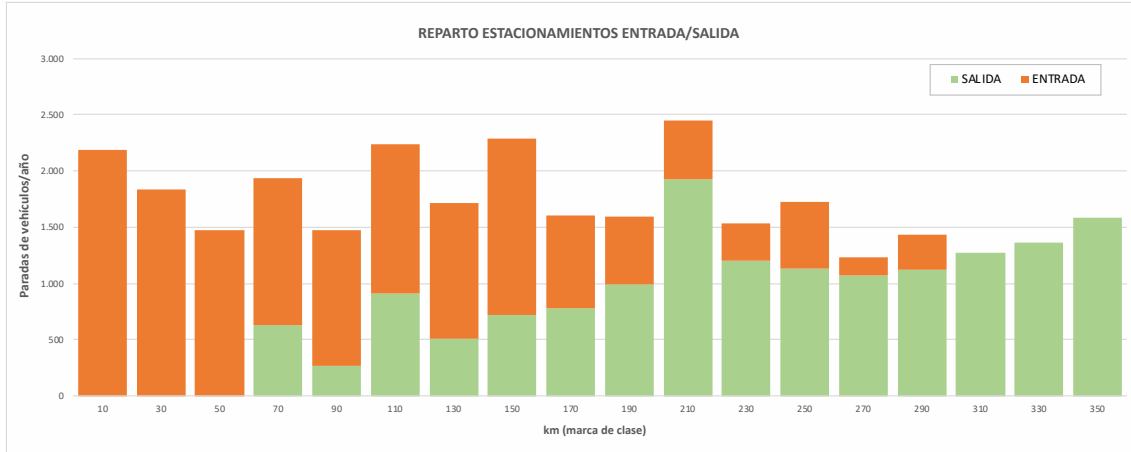


Figura 33. Desglose del reparto de estacionamientos por sentido de circulación en el escenario TEC

DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (kWh/DÍA)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0,00	0,00	0,00	22,91	12,69	50,58	32,26	45,24	59,08	88,76	185,72	105,73	105,29	113,88	133,12	157,50	194,53	246,32
ENTRADA	290,92	232,45	170,25	143,60	120,71	120,03	102,50	149,56	71,40	46,02	33,17	20,96	32,87	7,71	11,44	0,00	0,00	0,00
TOTAL	290,92	232,45	0,00	166,51	133,41	170,60	134,76	194,79	130,47	134,79	218,89	126,69	138,16	121,59	144,55	157,50	194,53	246,32

ACUMULADO ANUAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (kWh/AÑO)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0	0	0	8.306	4.602	18.340	11.696	16.402	21.422	32.186	67.341	38.339	38.180	41.293	48.268	57.109	70.536	89.314
ENTRADA	105.489	84.286	61.733	52.069	43.771	43.522	37.168	54.229	25.888	16.688	12.029	7.601	11.918	2.796	4.147	0	0	0
TOTAL	105.489	84.286	61.733	60.376	48.373	61.861	48.864	70.632	47.310	48.874	79.371	45.940	50.098	44.089	52.415	57.109	70.536	89.314

Tabla 20. Distribución de la demanda energética por tramos diaria y anual en el escenario TEC

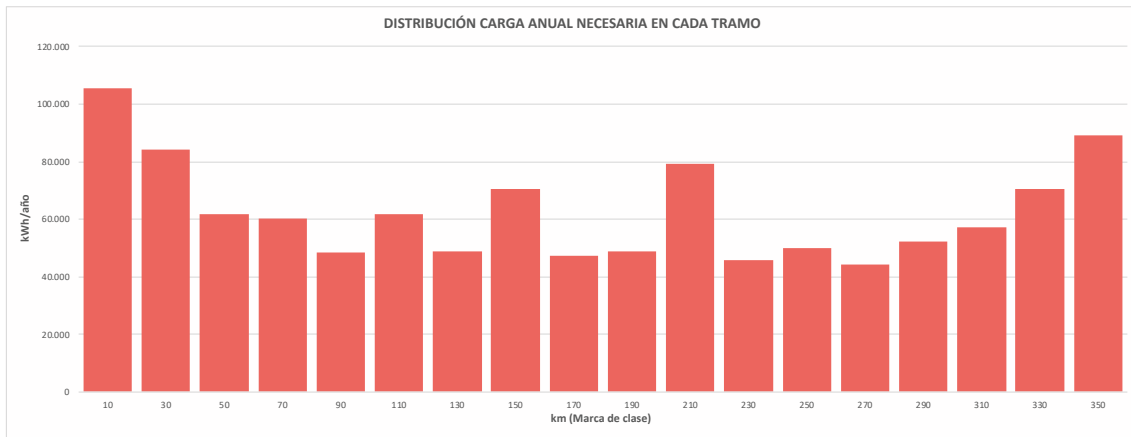


Figura 34. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario TEC

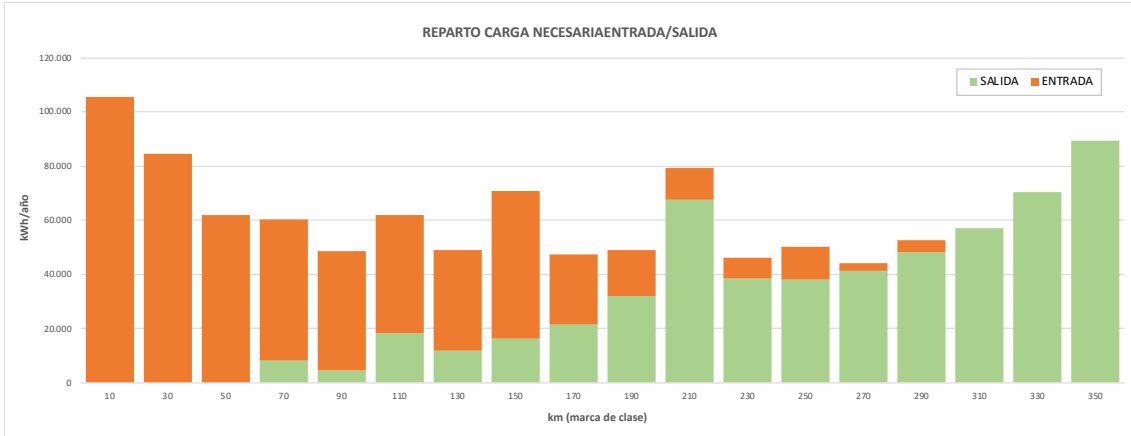


Figura 35. Desglose del reparto de la demanda energética por sentido de circulación en el escenario TEC

Anexo III. c - Escenario Tecnológico Rápido (TEC Rápido)

DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTACIONAMIENTOS DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (VEHÍCULOS/DÍA)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0,00	0,00	0,00	1,60	0,91	2,44	1,68	2,26	2,49	3,12	5,32	3,75	3,53	3,52	3,74	4,21	4,51	5,19
ENTRADA	6,92	5,85	4,88	4,33	3,92	4,12	3,73	4,36	2,55	1,92	1,66	1,09	1,59	0,55	0,80	0,00	0,00	0,00
TOTAL	6,92	5,85	4,88	5,94	4,83	6,57	5,41	6,63	5,04	5,04	6,98	4,84	5,12	4,07	4,54	4,21	4,51	5,19

ACUMULADO ANUAL ESTACIONAMIENTOS DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (VEHÍCULOS/AÑO)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0	0	0	581	331	886	609	820	901	1.131	1.928	1.360	1.279	1.276	1.357	1.527	1.636	1.882
ENTRADA	2.510	2.120	1.768	1.572	1.420	1.496	1.353	1.582	925	696	602	396	576	201	290	0	0	0
TOTAL	2.510	2.120	1.768	2.153	1.751	2.381	1.962	2.402	1.826	1.827	2.530	1.756	1.855	1.477	1.647	1.527	1.636	1.882

Tabla 21. Distribución de los estacionamientos por tramos diaria y anual en el escenario TEC Rápido

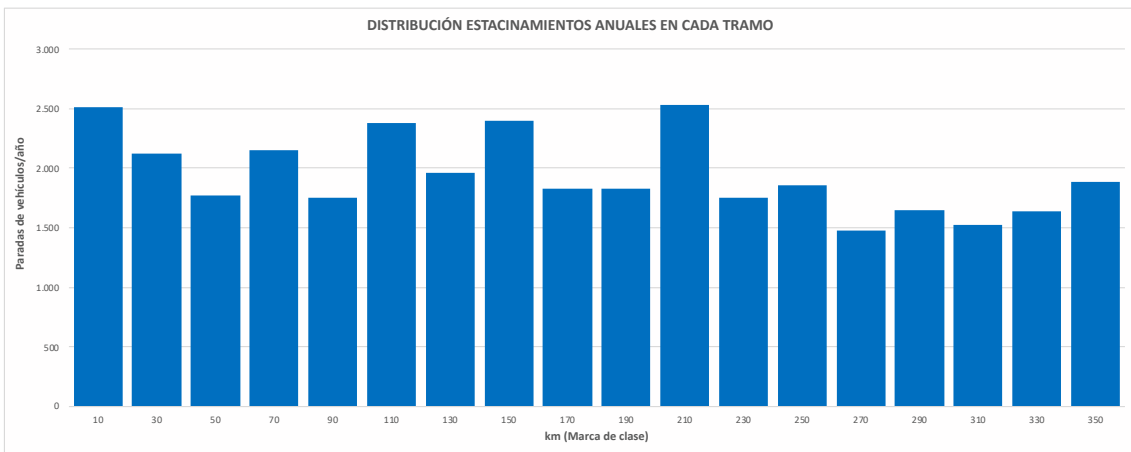


Figura 36. Reparto anual de estacionamientos por tramo en el escenario TEC Rápido

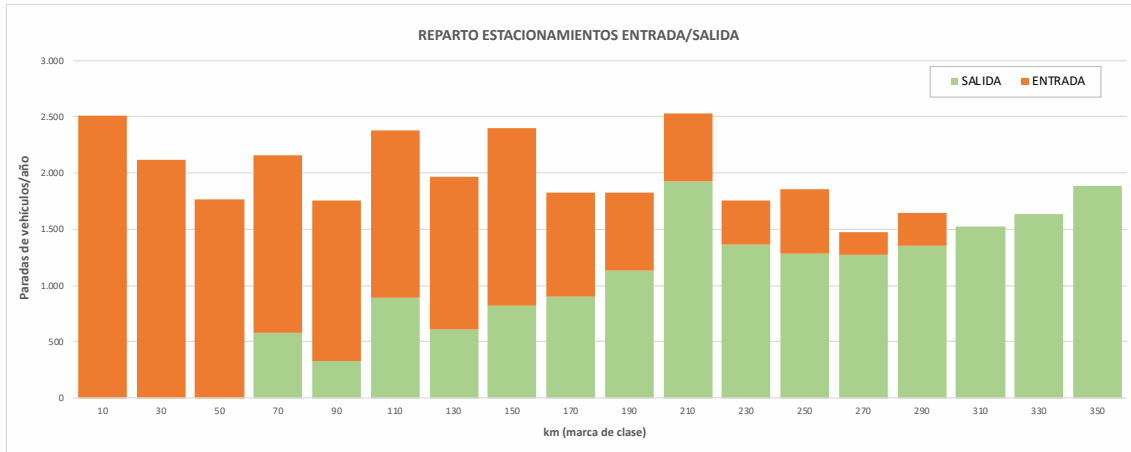


Figura 37. Desglose del reparto de estacionamientos por sentido de circulación en el escenario TEC Rápido

DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (kWh/DÍA)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0,00	0,00	0,00	21,26	15,46	49,31	38,55	53,25	70,09	100,88	185,14	123,69	123,07	137,90	161,98	190,01	234,80	297,59
ENTRADA	344,70	273,27	206,05	174,21	145,61	139,32	118,85	149,28	80,76	54,76	39,05	25,05	32,04	9,39	10,61	0,00	0,00	0,00
TOTAL	344,70	273,27	206,05	195,46	161,06	188,63	157,40	202,53	150,85	155,63	224,19	148,74	155,11	147,29	172,59	190,01	234,80	297,59

ACUMULADO ANUAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA PARA LA CARGA DE LOS VEHÍCULOS A LO LARGO DE LA CARRETERA (kWh/AÑO)																		
Xi (km)	10	30	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230	250	270	290	310	330	350
SALIDA	0	0	0	7.709	5.604	17.879	13.977	19.308	25.414	36.577	67.130	44.850	44.623	50.001	58.733	68.899	85.140	107.905
ENTRADA	124.989	99.087	74.714	63.167	52.797	50.517	43.097	54.129	29.283	19.854	14.160	9.083	11.619	3.405	3.849	0	0	0
TOTAL	124.989	99.087	74.714	70.875	58.401	68.396	57.073	73.437	54.696	56.432	81.290	53.933	56.242	53.406	62.582	68.899	85.140	107.905

Tabla 22. Distribución de la demanda energética por tramos diaria y anual en el escenario TEC Rápido

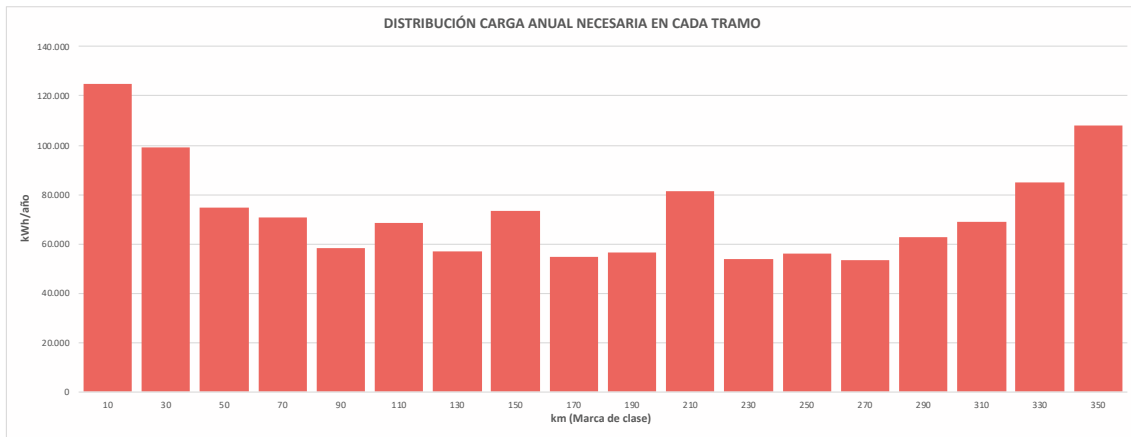


Figura 38. Reparto anual de la demanda energética por tramo en el escenario TEC Rápido

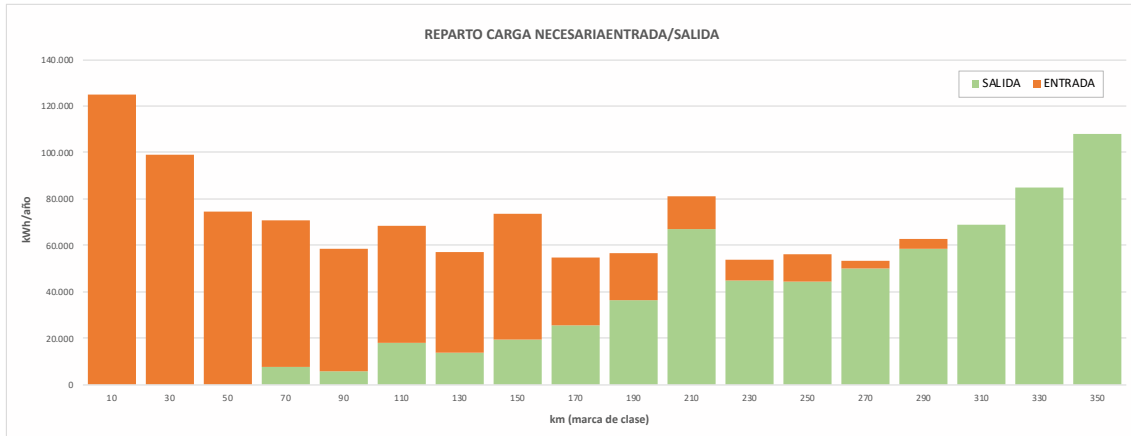


Figura 39. Desglose del reparto de la demanda energética por sentido de circulación en el escenario TEC Rápido

Anexo III. d - Resultados del cálculo de optimización

En este apartado se incluyen los resultados del cálculo de optimización, llevados a cabo para el año 2025 en cada uno de los escenarios. Los datos introducidos para estos cálculos han sido una demanda cubierta del 60% y una capacidad de abastecimiento por local de 450.000 kWh. Estos dos valores podrán ser modificados por el usuario de manera sencilla como se indica en el programa.

La capacidad que puede aportar cada local no es aleatoria, sino que es estimada teniendo en cuenta el tiempo medio de recarga, las horas que estará funcionando cada local y el repostaje medio que llevará a cabo cada usuario. El valor resultante se encuentra en torno a los 473.000 kWh al año, teniendo en cuenta un local que cuente con cuatro surtidores.

ASIGNACIÓN DE LOCALES							
TRAMO (km)	LOCALES POR TRAMO	POTENCIA ANUAL A CUBRIR (kWh)	NÚMERO DE PARADAS ANUALES	POTENCIA ANUAL A CUBRIR POR LOCAL (kWh)	NÚMERO DE PARADAS ANUALES POR LOCAL		
0	20	2	563.087	11196	281.544	5.598	
20	40	1	445.353	9479	445.353	9.479	
40	60	1	338.698	7998	338.698	7.998	
60	80	1	318.415	9506	318.415	9.506	
140	160	1	317.103	10403	317.103	10.403	
200	220	1	349.133	10899	349.133	10.899	
320	340	1	385.660	7402	385.660	7.402	
340	360	2	488.907	8478	244.454	4.239	
TOTAL	10	666.236	75360	MEDIA	335.045	MEDIA	8.190

Tabla 23. Resultados del cálculo de optimización para el escenario PA

ASIGNACIÓN DE LOCALES								
TRAMO (km)		LOCALES POR TRAMO	POTENCIA ANUAL A CUBRIR (kWh)	NÚMERO DE PARADAS ANUALES	POTENCIA ANUAL A CUBRIR POR LOCAL (kWh)	NÚMERO DE PARADAS ANUALES POR LOCAL		
0	20	2	777.275	14975	388.638	7.488		
20	40	2	610.269	12778	305.135	6.389		
40	60	2	476.567	11172	238.283	5.586		
60	80	1	435.728	12291	435.728	12.291		
200	220	1	408.524	12905	408.524	12.905		
300	320	1	437.846	9665	437.846	9.665		
320	340	2	541.367	10356	270.684	5.178		
340	360	2	686.852	11697	343.426	5.848		
TOTAL		13	408.524	95840	MEDIA	353.533	MEDIA	8.169

Tabla 24. Resultados del cálculo de optimización para el escenario TEC

ASIGNACIÓN DE LOCALES								
TRAMO (km)		LOCALES POR TRAMO	POTENCIA ANUAL A CUBRIR (kWh)	NÚMERO DE PARADAS ANUALES	POTENCIA ANUAL A CUBRIR POR LOCAL (kWh)	NÚMERO DE PARADAS ANUALES POR LOCAL		
0	20	3	1.088.478	20739	362.826	6.913		
20	40	2	852.432	17746	426.216	8.873		
40	60	2	671.749	15710	335.875	7.855		
60	80	2	608.340	16810	304.170	8.405		
280	300	2	551.421	13702	275.711	6.851		
300	320	2	616.587	13597	308.294	6.799		
320	340	2	762.483	14570	381.241	7.285		
340	360	3	967.651	16377	322.550	5.459		
TOTAL		18	0	129251	MEDIA	339.610	MEDIA	7.305

Tabla 25. Resultados del cálculo de optimización para el escenario TEC Rápido

Anexo IV - Resultados de los cálculos económicos

En este anexo se recoge el detalle de los cálculos económicos efectuados para cada uno de los cuatro modelos presentados. Se presenta primero la tabla con el cálculo de la inversión inicial para cada modelo, seguido del modelo empresarial y el estudio de rentabilidad de la inversión en los próximos diez años.

Para el cálculo presentado a continuación, se escogió situar el local en el tramo de la A3 entre los kilómetros 140 y 160. En este tramo están situados además otros cuatro establecimientos que ofrecen posibilidad de recarga, dividiéndose la demanda energética en partes iguales entre los cinco locales.

El precio establecido para el coste de la compra de energía es el presentado por Red Eléctrica Española para el año 2019. Este se aplicará únicamente en aquellos modelos que no cuenten con ventajas a la hora de la adquisición de la electricidad, es decir, los modelos independiente y de establecimiento (REE_19).

El precio de venta de la energía ha sido tomado de estimaciones anteriores realizadas en otros proyectos relacionados (BARC18).

El escenario planteado para el estudio es el tecnológico (TEC) por ser el más probable.

Escenario escogido:	TEC
Coste de la compra de energía:	57,95 €/MWh
Precio de venta de energía:	454 €/MWh
Marca de clase del tramo en el que se situará el local (km) :	150
Número de locales que se situarán en ese tramo:	5

Tabla 26. Datos escogidos para el cálculo económico

Todos estos valores pueden ser modificados por el usuario, siendo los cambios automáticamente trasladados al resto de tablas, pudiendo analizar de esta forma de manera sencilla las diferencias entre los distintos tipos de escenarios y las sensibilidades que suscitan los cambios en los valores de entrada.

Anexo IV. a - Cálculo de la inversión para cada modelo empresarial

A continuación, se presentan los costes de inversión para cada uno de los tres modelos empresariales.

En el planteamiento presentado se instalan cuatro surtidores de electricidad además de un recinto habilitado para el estacionamiento resguardado del vehículo, acompañado en los casos en los que sea necesario de una pequeña área de descanso con mesas y máquinas expendedoras.

Algunos de los valores empleados para la estimación económica han sido extraídos de otros cálculos económicos pertenecientes a planes de empresa de otras gasolineras (GOME10).

CÁLCULO DE LA INVERSIÓN EN FUNCIÓN DEL MODELO ECONÓMICO				
	INDEPENDIENTE	ELÉCTRICA	ESTABLECIMIENTO	PETROLERA + ELÉCTRICA
HABILITACIÓN DE LA ZONA DE REGARGA	✓	✓	✓	✓
CONSTRUCCIÓN DE ÁREA DE DESCANSO	✓	✓	X	X
ACOMETIDA ELÉCTRICA	30.000,00 €	30.000,00 €	0,00 €	0,00 €
REFUERZO DE RED	0,00 €	0,00 €	14.000,00 €	14.000,00 €
COMPRA DE TERRENO Y ACCESOS	150.000,00 €	150.000,00 €	0,00 €	0,00 €
OBRA CIVIL	254.240,00 €	254.240,00 €	113.250,00 €	113.250,00 €
Movimiento de tierras y pavimentación	80.000,00 €	80.000,00 €	0,00 €	0,00 €
Estructuras metálicas	123.750,00 €	123.750,00 €	101.250,00 €	101.250,00 €
Albañilería, carpintería y fontanería	40.000,00 €	40.000,00 €	10.000,00 €	10.000,00 €
Imagen y monoposte	8.490,00 €	8.490,00 €	0,00 €	0,00 €
Instalación contra incendios	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €
ELECTRICIDAD/DATOS	3.050,00 €	3.050,00 €	3.050,00 €	3.050,00 €
Cableado	1.800,00 €	1.800,00 €	1.800,00 €	1.800,00 €
Cajas de protección	350,00 €	350,00 €	350,00 €	350,00 €
Modulo centralización	900,00 €	900,00 €	900,00 €	900,00 €
POSTES DE RECARGA	100.000,00 €	100.000,00 €	100.000,00 €	100.000,00 €
Postes de recarga (4)	100.000,00 €	100.000,00 €	100.000,00 €	100.000,00 €
VARIOS	3.765,00 €	3.765,00 €	3.765,00 €	3.765,00 €
Personalización de vinilo	165,00 €	165,00 €	165,00 €	165,00 €
Proyecto	800,00 €	800,00 €	800,00 €	800,00 €
Gastos inspección y tasas	1.200,00 €	1.200,00 €	1.200,00 €	1.200,00 €
Gestión gestor de carga	1.600,00 €	1.600,00 €	1.600,00 €	1.600,00 €
TOTAL	541.055,00 €	541.055,00 €	234.065,00 €	234.065,00 €
AMORTIZACIÓN ANUAL A 10 AÑOS	54.105,50 €	54.105,50 €	23.406,50 €	23.406,50 €

Tabla 27. Cálculo de la inversión

Anexo IV. b - Plan de empresa para el modelo independiente

	PREVISIÓN INGRESOS Y GASTOS MODELO ECONÓMICO INDEPENDIENTE										
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	TOTAL
kWh/año	70.632	114.054	185.073	251.612	315.835	378.706	463.914	547.804	653.289	757.602	3.738.520
COSTES											
Compra de energía	818,62 €	1.321,89 €	2.145,00 €	2.916,18 €	3.660,52 €	4.389,20 €	5.376,77 €	6.349,05 €	7.571,62 €	8.780,61 €	43.329,45 €
Personal (2)	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	360.000,00 €
Mantenimiento	600,00 €	968,86 €	1.572,15 €	2.137,38 €	2.682,94 €	3.217,01 €	3.940,84 €	4.653,46 €	5.549,53 €	6.435,64 €	31.757,82 €
Gastos generales	1.870,93 €	1.914,54 €	1.985,86 €	2.052,68 €	2.117,17 €	2.180,31 €	2.265,88 €	2.350,13 €	2.456,06 €	2.560,81 €	21.754,36 €
TOTAL COSTES	39.289,55 €	40.205,29 €	41.703,01 €	43.106,24 €	44.460,63 €	45.786,52 €	47.583,49 €	49.352,63 €	51.577,21 €	53.777,06 €	456.841,64 €
INGRESOS											
Venta de energía	6.409,84 €	10.350,41 €	16.795,41 €	22.833,77 €	28.661,99 €	34.367,53 €	42.100,24 €	49.713,21 €	59.285,97 €	68.752,38 €	339.270,74 €
TOTAL INGRESOS	6.409,84 €	10.350,41 €	16.795,41 €	22.833,77 €	28.661,99 €	34.367,53 €	42.100,24 €	49.713,21 €	59.285,97 €	68.752,38 €	339.270,74 €
RENDIMIENTO											
Amortización	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-541.055,00 €
TOTAL AMORTIZACIÓN	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-541.055,00 €
BENEFICIO ANUAL	-86.985,22 €	-83.960,37 €	-79.013,10 €	-74.377,97 €	-69.904,15 €	-65.524,49 €	-59.588,75 €	-53.744,93 €	-46.396,74 €	-39.130,18 €	-658.625,90 €
Impuestos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
BENEFICIO NETO	-86.985,22 €	-83.960,37 €	-79.013,10 €	-74.377,97 €	-69.904,15 €	-65.524,49 €	-59.588,75 €	-53.744,93 €	-46.396,74 €	-39.130,18 €	-658.625,90 €

Tabla 28. Previsión ingresos y gastos del modelo independiente

Anexo IV. c - Plan de empresa para el modelo de compañía eléctrica

	PREVISIÓN INGRESOS Y GASTOS MODELO ECONÓMICO DE COMPAÑÍA ELÉCTRICA										
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	TOTAL
kWh/año	70.632	114.054	185.073	251.612	315.835	378.706	463.914	547.804	653.289	757.602	3.738.520
COSTES											
Compra de energía	272,87 €	440,63 €	715,00 €	972,06 €	1.220,17 €	1.463,07 €	1.792,26 €	2.116,35 €	2.523,87 €	4.390,30 €	15.906,59 €
Personal (2)	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	36.000,00 €	360.000,00 €
Mantenimiento	600,00 €	968,86 €	1.572,15 €	2.137,38 €	2.682,94 €	3.217,01 €	3.940,84 €	4.653,46 €	5.549,53 €	6.435,64 €	31.757,82 €
Gastos generales	1.843,64 €	1.870,47 €	1.914,36 €	1.955,47 €	1.995,16 €	2.034,00 €	2.086,65 €	2.138,49 €	2.203,67 €	2.341,30 €	20.383,22 €
TOTAL COSTES	38.716,52 €	39.279,97 €	40.201,51 €	41.064,91 €	41.898,27 €	42.714,08 €	43.819,75 €	44.908,30 €	46.277,07 €	49.167,25 €	428.047,63 €
INGRESOS											
Venta de energía	6.409,84 €	10.350,41 €	16.795,41 €	22.833,77 €	28.661,99 €	34.367,53 €	42.100,24 €	49.713,21 €	59.285,97 €	68.752,38 €	339.270,74 €
TOTAL INGRESOS	6.409,84 €	10.350,41 €	16.795,41 €	22.833,77 €	28.661,99 €	34.367,53 €	42.100,24 €	49.713,21 €	59.285,97 €	68.752,38 €	339.270,74 €
RENDIMIENTO											
Amortización	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-541.055,00 €
TOTAL AMORTIZACIÓN	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-54.105,50 €	-541.055,00 €
BENEFICIO ANUAL	-86.412,18 €	-83.035,05 €	-77.511,60 €	-72.336,65 €	-67.341,78 €	-62.452,05 €	-55.825,01 €	-49.300,59 €	-41.096,60 €	-34.520,36 €	-629.831,89 €
Impuestos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
BENEFICIO NETO	-86.412,18 €	-83.035,05 €	-77.511,60 €	-72.336,65 €	-67.341,78 €	-62.452,05 €	-55.825,01 €	-49.300,59 €	-41.096,60 €	-34.520,36 €	-629.831,89 €

Tabla 29. Previsión ingresos y gastos del modelo de compañía eléctrica

Anexo IV. d - Plan de empresa para el modelo de establecimiento en explotación

	PREVISIÓN INGRESOS Y GASTOS MODELO ECONÓMICO DE ESTABLECIMIENTO EN EXPLOTACIÓN										
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	TOTAL
kWh/año	70.632	114.054	185.073	251.612	315.835	378.706	463.914	547.804	653.289	757.602	3.738.520
COSTES											
Compra de energía	818,62 €	1.321,89 €	2.145,00 €	2.916,18 €	3.660,52 €	4.389,20 €	5.376,77 €	6.349,05 €	7.571,62 €	8.780,61 €	43.329,45 €
Mantenimiento	600,00 €	600,30 €	600,59 €	600,89 €	601,19 €	601,49 €	601,78 €	602,08 €	602,38 €	602,67 €	6.013,37 €
Gastos generales	70,93 €	96,11 €	137,28 €	175,85 €	213,09 €	249,53 €	298,93 €	347,56 €	408,70 €	469,16 €	2.467,14 €
TOTAL COSTES	1.489,55 €	2.018,29 €	2.882,87 €	3.692,92 €	4.474,80 €	5.240,22 €	6.277,48 €	7.298,68 €	8.582,69 €	9.852,44 €	51.809,96 €
INGRESOS											
Venta de energía	6.409,84 €	10.350,41 €	16.795,41 €	22.833,77 €	28.661,99 €	34.367,53 €	42.100,24 €	49.713,21 €	59.285,97 €	68.752,38 €	339.270,74 €
Ing. aumento actividad	2.000,00 €	3.229,54 €	5.240,51 €	7.124,60 €	8.943,13 €	10.723,37 €	13.136,13 €	15.511,54 €	18.498,43 €	21.452,15 €	105.859,40 €
TOTAL INGRESOS	8.409,84 €	13.579,95 €	22.035,92 €	29.958,37 €	37.605,11 €	45.090,90 €	55.236,37 €	65.224,74 €	77.784,40 €	90.204,53 €	339.270,74 €
RENDIMIENTO	6.920,28 €	11.561,66 €	19.153,04 €	26.265,44 €	33.130,32 €	39.850,68 €	48.958,89 €	57.926,06 €	69.201,71 €	80.352,09 €	393.320,18 €
Amortización	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-234.065,00 €
TOTAL AMORTIZACIÓN	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-234.065,00 €
BENEFICIO ANUAL	-16.486,22 €	-11.844,84 €	-4.253,46 €	2.858,94 €	9.723,82 €	16.444,18 €	25.552,39 €	34.519,56 €	45.795,21 €	56.945,59 €	159.255,18 €
Impuestos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	6.388,10 €	8.629,89 €	11.448,80 €	14.236,40 €	39.813,79 €
BENEFICIO NETO	-16.486,22 €	-11.844,84 €	-4.253,46 €	2.858,94 €	9.723,82 €	16.444,18 €	19.164,29 €	25.889,67 €	34.346,41 €	42.709,19 €	119.441,38 €

Tabla 30. Previsión ingresos y gastos del modelo de establecimiento

Anexo IV. e - Plan de empresa para el modelo de compañía petrolera y eléctrica

	PREVISIÓN INGRESOS Y GASTOS MODELO ECONÓMICO DE COMPAÑÍA PETROLERA Y ELÉCTRICA										
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	TOTAL
kWh/año	70.632	114.054	185.073	251.612	315.835	378.706	463.914	547.804	653.289	757.602	3.738.520
COSTES											
Compra de energía	272,87 €	440,63 €	715,00 €	972,06 €	1.220,17 €	1.463,07 €	1.792,26 €	2.116,35 €	2.523,87 €	2.926,87 €	14.443,15 €
Mantenimiento	600,00 €	600,30 €	600,59 €	600,89 €	601,19 €	601,49 €	601,78 €	602,08 €	602,38 €	602,67 €	6.013,37 €
Gastos generales	43,64 €	52,05 €	65,78 €	78,65 €	91,07 €	103,23 €	119,70 €	135,92 €	156,31 €	176,48 €	1.022,83 €
TOTAL COSTES	916,52 €	1.092,97 €	1.381,37 €	1.651,60 €	1.912,43 €	2.167,78 €	2.513,74 €	2.854,35 €	3.282,56 €	3.706,02 €	21.479,34 €
INGRESOS											
Venta de energía	6.409,84 €	10.350,41 €	16.795,41 €	22.833,77 €	28.661,99 €	34.367,53 €	42.100,24 €	49.713,21 €	59.285,97 €	68.752,38 €	339.270,74 €
Cafetería	2.000,00 €	3.229,54 €	5.240,51 €	7.124,60 €	8.943,13 €	10.723,37 €	13.136,13 €	15.511,54 €	18.498,43 €	21.452,15 €	105.859,40 €
TOTAL INGRESOS	8.409,84 €	13.579,95 €	22.035,92 €	29.958,37 €	37.605,11 €	45.090,90 €	55.236,37 €	65.224,74 €	77.784,40 €	90.204,53 €	445.130,14 €
RENDIMIENTO	7.493,32 €	12.486,98 €	20.654,54 €	28.306,77 €	35.692,68 €	42.923,12 €	52.722,63 €	62.370,39 €	74.501,84 €	86.498,51 €	423.650,79 €
Amortización	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-234.065,00 €
TOTAL AMORTIZACIÓN	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-23.406,50 €	-234.065,00 €
BENEFICIO ANUAL	-15.913,18 €	-10.919,52 €	-2.751,96 €	4.900,27 €	12.286,18 €	19.516,62 €	29.316,13 €	38.963,89 €	51.095,34 €	63.092,01 €	189.585,79 €
Impuestos	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	4.879,16 €	7.329,03 €	9.740,97 €	12.773,84 €	15.773,00 €	47.396,45 €
BENEFICIO NETO	-15.913,18 €	-10.919,52 €	-2.751,96 €	4.900,27 €	12.286,18 €	14.637,47 €	21.987,10 €	29.222,92 €	38.321,51 €	47.319,01 €	142.189,35 €

Tabla 31. Previsión ingresos y gastos del modelo de compañía petrolera y eléctrica