

# Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico

José María MIRANDA HERNÁNDEZ  
U.T.E. ACISA-EYSA  
Mantenimiento Tráfico Sevilla

ata, citation and similar papers at [core.ac.uk](http://core.ac.uk)

brought to you

provided by idUS. Depósito de Investigación Unive

NIÉVES ISABELS GONZÁLEZ  
Departamento de Ingeniería Química  
Universidad de Sevilla  
mnieves@us.es

Recibido: 24 de junio del 2015

Enviado a evaluar: 26 de junio del 2015

Aceptado: 25 de noviembre del 2015

## RESUMEN

Este trabajo revisa la evolución y estado actual de la automoción eléctrica; analiza las ventajas ambientales, de eficiencia energética y de costes del motor eléctrico frente al de combustión interna; y presenta como limitaciones para el uso del vehículo eléctrico, el desarrollo actual de las baterías recargables y la lenta implantación de electrolinerías. Con el objetivo de contribuir al desarrollo de una actividad económica respetuosa con el medio ambiente y basada en nuevas tecnologías, se proyecta, a partir de experiencias previas, una instalación de puntos de recarga para una ciudad de 50.000 habitantes con un parque de 100 vehículos eléctricos que dispone de dos plazas de recarga rápida (poste trifásico 400V CA), siete plazas de recarga lenta (postes monofásicos 230V CA) y de 50 módulos fotovoltaicos que producen diariamente la energía equivalente a la recarga lenta de un vehículo en los meses fríos y de dos en los meses cálidos.

**Palabras clave:** Vehículo eléctrico, puntos de recarga de vehículos eléctricos, infraestructuras de recarga, vehículo eléctrico y medio ambiente, electrolinería.

## Charging infrastructure and the launch of electric vehicle

### ABSTRACT

This paper reviews the evolution and current state of the electric car; analyzes the advantages of the electric motor versus the internal combustion engine which are: less harmful to the environment, energy efficiency and cost; and shows the present development of rechargeable batteries and the slow implementation of EV charging stations as limitations on the use of electric vehicles. With the aim of contributing to the development of an economic activity that is eco-friendly and based on new technologies, from former experiences, an installation for electric charging in a 50,000 inhabitants town with a fleet of 100 electric vehicles is projected. It has two parking places for fast recharge (three-phase 400V AC), seven for slow recharge (single-phase 230V AC) and 50 photovoltaic modules that daily produce the equivalent energy for the slow recharge of one vehicle in the colder months and two in the warmer ones.

**Key words:** Electric car, electric car charging points, infrastructure for vehicle charging, transportation electrification, electric vehicle and environment.

## Tarifificación des infraestructures et le lancement de véhicule électrique

### RÉSUMÉ

Cet article examine l'évolution et l'état de l'art de la voiture électrique; il analyse les avantages environnementales, d'efficacité énergétique et des coûts du moteur électrique contre le moteur à combustion interne; il montre comme limitation sur l'usage des véhicules électriques le développement présent des piles rechargeables et la lente mise en oeuvre d'un réseau de bornes de recharge. Au but de contribuer au développement d'une activité économique qui est respectueuse de l'environnement et basé sur les nouvelles technologies, on projette, en utilisant des expériences précédentes, une installation de bornes de recharge dans une ville de 50.000 habitants avec une flotte de 100 véhicules électriques. Elle a deux emplacements de parking pour recharge rapide (400V CA triphasé), sept pour recharge lente (230V CA monophasé) et 50 modules photovoltaïques qui produisent chaque jour l'énergie équivalente pour la recharge lente d'un véhicule dans les mois plus froids et deux dans les plus chauds.

**Mots clés:** Voiture électrique, bornes de recharge pour les voitures électriques, station de recharge, infrastructures de recharge, environnement et voiture électrique.

### 1. INTRODUCCIÓN. COOPERACIÓN EN LOS ÁMBITOS DE LA AUTOMOCIÓN, DEL TRANSPORTE, DE LA QUÍMICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

En los últimos años del siglo XX tuvieron lugar algunos acontecimientos importantes que marcaron la diferencia entre el recorrido social del pasado siglo y las cuestiones y prioridades que se dan en nuestros días.

La caída del Muro de Berlín y el final de la Guerra Fría fueron algunos de ellos. La elaboración por la Organización de las Naciones Unidas de un programa de desarrollo mundial que integraba globalmente las esferas social, económica y medioambiental fue otro.

En 1987 el Informe Brundtland [1], elaborado a instancias de la ONU, estableció la primera definición de desarrollo sostenible como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades".

Estas consideraciones han alcanzado tal relevancia que las limitaciones de los recursos de energía fósil y el cambio climático se han convertido en uno de los principales retos de la sociedad actual.

Si bien una parte de la comunidad científica, y autores como Bjørn Lomborg [2], muestran escepticismo en relación con la importancia de los factores antropogénicos en la evolución del clima, la independencia con respecto a los combustibles fósiles apenas tiene detractores en el ámbito científico y es un objetivo cuyo logro reduciría las tensiones geopolíticas.

El 73% del consumo de petróleo en la UE se produce en el transporte por carretera [3]. Es necesario, pues encontrar y llevar a cabo soluciones sostenibles al problema de la movilidad y al transporte del futuro.

Las áreas urbanas continúan atrayendo de forma notable a la población y las previsiones de la Organización de las Naciones Unidas indican que alrededor del 70% de la población mundial vivirá en áreas urbanas en 2050 [3].

Así, gran parte de la población realizará viajes con un recorrido diario inferior a 100 km, dentro de la aglomeración urbana. Además la distribución capilar de mercancías tendrá lugar en gran medida en las áreas urbanas, y serán necesarios vehículos de reparto más limpios y eficientes.

Atendiendo a la evolución de las infraestructuras y de los tipos y número de vehículos en las calles la gestión del tráfico ha empleado a lo largo del tiempo diversas herramientas tecnológicas y normativas.

Figura 1. Tráfico urbano en State Street en Chicago en 1903.



Fuente: <http://www.loc.gov/rr/print/>

En el contexto previsto para el futuro, la gestión del tráfico urbano se hará más compleja, debiendo ordenar la convivencia de varios modos de transporte y regular la circulación de vehículos de propulsión tecnológicamente diferente como son los de combustión interna, los híbridos y los eléctricos.

El núcleo de la electrificación del transporte por carretera es el vehículo eléctrico, con cero emisiones en el punto de uso.

Sin embargo su desarrollo genera nuevos conceptos de turismos, camiones y autobuses, como los híbridos enchufables, que tienen como características comunes

unos niveles muy bajos de ruido y de emisiones contaminantes, el empleo de combustibles limpios y un uso eficiente de la energía.

A pesar de todas sus ventajas, los vehículos eléctricos tienen varios puntos débiles como la autonomía, el tiempo de recarga y sobre todo la implantación de las infraestructuras de recarga.

El temor a quedarse sin energía eléctrica en carretera constituye la principal barrera psicológica que frena el uso de los vehículos eléctricos.

Recientemente Carlos Ghosn, presidente del Grupo Renault – Nissan, afirmaba en relación con el limitado crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos que el factor fundamental es la lenta implantación de las infraestructuras de recarga. [5]

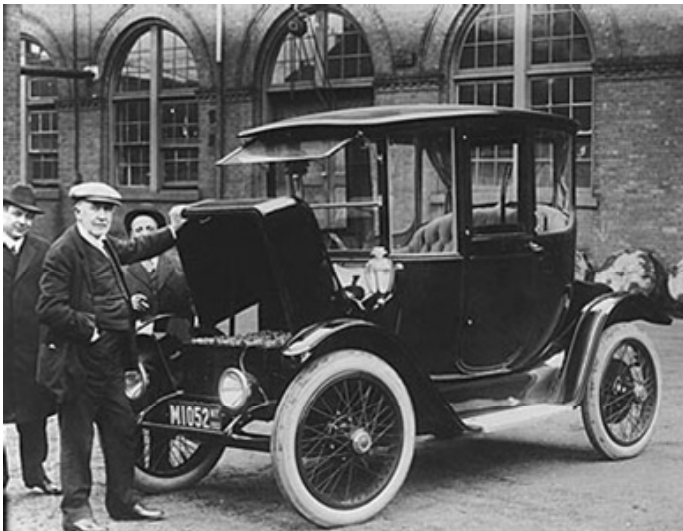
Estas consideraciones ponen de manifiesto el amplio espectro de elementos científicos y tecnológicos implicados en la sostenibilidad del transporte por carretera así como la interrelación entre sectores aparentemente desconectados.

Los objetivos y las acciones en las áreas de la automoción, del transporte, de la química y del medio ambiente deben estar coordinados para lograr el objetivo común de reducción de dependencia de los combustibles fósiles y de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

## 1.1.EVOLUCIÓN Y ACTUAL POSICIONAMIENTO ENERGÉTICO DE LA AUTOMOCIÓN ELÉCTRICA

Aunque no es un aspecto muy conocido, los primeros automóviles fueron eléctricos. A lo largo del siglo XIX diversos inventores desarrollaron prototipos de vehículos eléctricos a escala.

Figura 2. Thomas Edison y un coche eléctrico en 1913.



Fuente: <http://americanhistory.si.edu/>

Los hubo de dos, tres y cuatro ruedas, y su desarrollo siempre fue precedido por la mejora en las prestaciones de las baterías eléctricas, desde el descubrimiento de la pila galvánica en el año 1800 por Alejandro Volta.

En los últimos años del siglo XIX el desarrollo tecnológico de los vehículos eléctricos era superior al de los vehículos provistos de la incipiente tecnología de los motores de combustión interna.

En 1899 el ingeniero belga Camille Jenatzy construyó el primer automóvil que superó la velocidad de 100 km/h. Se trataba de un vehículo eléctrico con una carrocería de aleación ligera de aluminio con forma de torpedo al que denominó "*La Jamais Contente*".

En los primeros años del siglo XX los automóviles eléctricos tuvieron un relativo éxito comercial debido a las ventajas que aportaba su conducción limpia, tranquila y de fácil manejo, y especialmente al hecho de prescindir del arranque manual con manivela, que era necesario en los automóviles de gasolina de la época. [7]

La introducción del arranque eléctrico por la compañía Cadillac en 1913, las numerosas innovaciones que surgieron en el ámbito de los vehículos de combustión interna, así como la generalización del sistema de producción en cadena de montaje implantado por Ford desde 1908, contribuyeron al declive del vehículo eléctrico, condicionado por su específica limitación: la capacidad de las baterías eléctricas. A finales de 1930, la industria del automóvil eléctrico había desaparecido por completo.

De este modo, la automoción durante el pasado siglo XX ha estado ligada al motor de combustión interna, de ciclo Otto o de ciclo Diesel, consumidor de combustibles derivados del petróleo.

Durante el periodo histórico comprendido entre los años veinte y los años sesenta del siglo XX, y a pesar de las dos guerras mundiales, el petróleo fue una materia prima con una gran estabilidad de precios, estos se mantuvieron fluctuando entre 0,5 \$/barril y 3 \$/barril. En gran medida Estados Unidos aportó estabilidad mundial a estos precios incrementando su producción desde 1,2 millones de barriles diarios en 1920 hasta 7 millones de barriles diarios en 1960. [8]

Sin embargo las crisis del petróleo de los años setenta tuvieron como consecuencia un incremento del precio de esta materia prima desde 9,56 \$/barril en 1970 hasta 85,03 \$/barril en 1980 (a precios constantes de 2007), es decir el precio prácticamente se multiplicó por 9 en este periodo. [8]

Aunque este precio descendió en los años ochenta y noventa hasta llegar en 1998 a un mínimo de 10,82 \$/barril, la experiencia de la primera (1973) y la segunda crisis del petróleo (1979) tuvo enormes consecuencias en la evolución de muchos sectores económicos en las dos últimas décadas del pasado siglo, y supuso el desplazamiento del petróleo en la generación de electricidad.

La llegada del siglo XXI ha venido acompañada de un alza permanente de los precios del petróleo, que se puede considerar estable en torno a 100 \$/barril, a pesar de la caída del precio del mismo durante los primeros meses de 2015.

Algunos autores consideran que este proceso ha supuesto una tercera crisis del petróleo, que tendrá como consecuencia su desplazamiento del transporte por

carretera, en una evolución lenta, de varias décadas, en la que habrá un largo periodo de coexistencia. [9]

La evolución hacia la electrificación del transporte por carretera convivirá con una amplia diversificación de los combustibles empleados por los automóviles y el fomento de aquellos con mejores características medioambientales, ya sean eléctricos, híbridos, de autogás (GLP) o de pila de combustible de hidrógeno. [3]

## 1.2. VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

El creciente acceso a los medios de transporte de una gran parte de la población mundial ha reforzado la incidencia negativa del sector transporte sobre el medio ambiente, ya que los vehículos son en su mayoría consumidores de combustibles fósiles y emisores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otras sustancias a la atmósfera.

Por ello, las actuales políticas de movilidad sostenible promueven la reducción de la demanda de transporte y la satisfacción de la misma mediante una racionalización del uso de los diversos medios: vehículo particular, transporte no motorizado, transporte público, ferrocarril, etc. También se pretende la mejora de la eficiencia de los vehículos. La demanda de movilidad se completa con otras iniciativas como la intermodalidad o el coche compartido (*carsharing*). [9]

Sin embargo el fuerte arraigo de la aspiración a la movilidad motorizada individual hace necesaria una solución viable y complementaria de las anteriores, como es el automóvil eléctrico conectado a la red.

El vehículo eléctrico responde a las actuales exigencias medioambientales en varios aspectos. Al no emitir sustancias a la atmósfera supone una mejora radical de la calidad del aire. Por otra parte evita la contaminación acústica, ya que su motor apenas hace ruido. De este modo los niveles de inmisión sonora se reducen en los lugares de circulación de estos vehículos.

Otras ventajas del vehículo eléctrico están relacionadas con la eficiencia del motor eléctrico, que presenta un elevado par motor desde prácticamente 0 revoluciones. La ausencia de caja de cambios también contribuye a una mejor respuesta en aceleración y a un excelente comportamiento cinemático. Además el vehículo eléctrico aprovecha la energía de los frenados, que en los vehículos convencionales constituyen pérdidas en forma de calor disipado a causa de la fricción.

Asimismo el vehículo eléctrico presenta un coste de mantenimiento y de combustible (recarga de energía eléctrica, excluyendo el coste de la baterías) mucho menor que el de un vehículo con motor de combustión interna.

El análisis de las ventajas medioambientales del vehículo eléctrico no debe obviar el hecho de que si bien desaparecen las emisiones a la atmósfera de CO<sub>2</sub> y sustancias contaminantes producto de la combustión en el vehículo, estas emisiones no cesan en las centrales térmicas de generación eléctrica de carbón o de ciclo combinado de gas natural.

Dependiendo del mix de generación eléctrica en cada país, la introducción del vehículo eléctrico tendrá diferente incidencia en la reducción de emisiones de productos de combustión de combustibles fósiles.

En aquellos países con reducida dependencia de las centrales térmicas de carbón o de ciclo combinado para la generación eléctrica, la implantación del vehículo eléctrico reducirá notablemente las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y el consumo de combustibles fósiles.

En países donde la cuota de participación de las centrales térmicas en el mix de generación eléctrica es elevada, la proliferación del vehículo eléctrico tendrá un efecto más limitado en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y en la dependencia de los combustibles fósiles.

Sin embargo, incluso en este último caso, la introducción del vehículo eléctrico supone una mejora en la eficiencia energética y en el medio ambiente, por el mayor rendimiento global de la transformación desde la energía química del combustible de origen fósil hasta la energía cinética del vehículo en movimiento.

En la tabla 1 se muestra un análisis comparativo del rendimiento energético obtenido del combustible primario (suponiendo un combustible fósil) para lograr el desplazamiento de un vehículo de gasolina, de gasoil o eléctrico (suponiendo el caso de una central de generación eléctrica de ciclo combinado de gas natural). Aunque excluye el coste energético de la extracción y transporte del combustible hasta el punto de consumo, este análisis considera las etapas más significativas del proceso desde el pozo a la rueda (*well to wheel*). [3]

Los vehículos con motor de gasolina o de gasoil son energéticamente bastante ineficientes debido a la gran cantidad de calor que generan (posteriormente disipado o expulsado en los gases de escape) y a las pérdidas por rozamiento entre los elementos mecánicos, por ejemplo los pistones dentro de los cilindros.

Tabla 1. Rendimiento energético del combustible en diversos tipos de automóviles..

| Tipo de automóvil                             | Energía primaria del combustible |                  |                         | Ciclo termodinámico | Energía final      |                   |       | Rendimiento global |                           |
|---|----------------------------------|------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------|--------------------|---------------------------|
| Motor gasolina                                | Energía Química                  |                  |                         | Ciclo Otto          | Energía Mecánica   |                   |       | 20% – 30%          |                           |
| Motor gasoil                                  | Energía Química                  |                  |                         | Ciclo Diesel        | Energía Mecánica   |                   |       | 30% – 35%          |                           |
| Motor eléctrico                               |                                  |                  |                         |                     |                    |                   |       |                    |                           |
| Central eléctrica ciclo combinado gas natural | Generación eléctrica             | Energía primaria | Energía de cogeneración |                     | Energía secundaria |                   |       | Energía final      | Rendimiento global<br>50% |
|   | Turbina de gas                   | Energía Química  | →                       | Ciclo Brayton       | Rdto.              | Energía Eléctrica | Rdto. | Energía Mecánica   |                           |
|   | Turbina de vapor                 |                  | ↙ En. térmica           | Ciclo Rankine       | 55%                |                   | 90%   |                    |                           |

Fuente: Ruiz Hernández, V. (1980)

Como refleja la tabla 1, a pesar de la mayor sofisticación del proceso que convierte la energía química en eléctrica y posteriormente la energía eléctrica en mecánica, el rendimiento global alcanza el 50% de la energía del combustible primario, que es un resultado mejor que los rendimientos obtenidos en los vehículos con motor de combustión. [10]

También es sofisticada la tecnología de los vehículos híbridos, en los que el sistema propulsor basado en el motor de combustión interna alternativo es complementado, o reemplazado, por un motor eléctrico. Sin embargo su empleo tiene ventajas para el usuario y beneficios para el medio ambiente ya que suponen una reducción del consumo de combustible, del ruido, y de las emisiones contaminantes y de gases de efecto invernadero. [3]

Aunque una parte importante de la energía eléctrica se obtenga en centrales térmicas consumidoras de combustibles fósiles, las emisiones de productos de combustión se encuentran localizadas en la planta, por lo que se pueden tratar de forma específica. Así, se están desarrollando tecnologías de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en yacimientos agotados de gas natural. Esto permitirá combinar el equilibrio medioambiental y la satisfacción de las necesidades de movilidad.

Por otra parte es posible obtener una parte de la energía eléctrica para la recarga de los vehículos eléctricos a partir de energías renovables: termosolar, fotovoltaica, geotérmica, y especialmente a partir de la energía eólica.

Actualmente los parques eólicos en España presentan una notable infrutilización de su capacidad de generación en periodos nocturnos. La implantación de los vehículos eléctricos supondría la entrada de un gran consumidor de energía en horario nocturno, que complementaría la caída general de consumo de electricidad en estos periodos.

Esta complementariedad del horario principal de recarga del vehículo eléctrico con el incremento en la utilización de la capacidad instalada de parques eólicos tendría un efecto sinérgico que combinaría la mejora medioambiental con la eficacia industrial y la reducción de costes.

Así pues, la relación entre la cantidad de vehículos eléctricos recargados y la utilización del sistema de generación eléctrica es muy favorable.

En este sentido, el profesor Francisco Aparicio, director del INSIA-UPM (Instituto Universitario de Investigación del Automóvil de la Universidad Politécnica de Madrid), estableció que un millón de vehículos eléctricos solo demandaría el 1% de la producción eléctrica en España, y que si la recarga de estos automóviles se realiza en las horas valle se podrían recargar millones de ellos sin comprometer el suministro eléctrico para otros usos ni incrementar la capacidad instalada. [11]

En este contexto diversos informes prevén un importante crecimiento de la producción de automóviles eléctricos. Así la consultora PwC (PricewaterhouseCoopers) considera que la fabricación de vehículos eléctricos supondrá entre el 2% y el 5% de la producción mundial de vehículos en el año 2020. [12].

Otros estudios de la empresa Repsol estiman que en Europa entre el 10% y el 12% de los automóviles que se venderán en el año 2020 serán eléctricos. [13]

La consultora Deloitte por su parte en el estudio “Implantación del vehículo eléctrico en España, ¿realidad o ficción?” realizado en siete países europeos: Alemania, Bélgica, Francia, Italia, Reino Unido, Turquía y España, establece que España es el segundo mercado europeo que muestra un mayor interés en la compra de



coches eléctricos. Un 82% de los usuarios españoles estaría dispuesto a adquirir un vehículo eléctrico, mientras que la media europea es de un 69%. [14]

Figura 3. Puntos de recarga de vehículos eléctricos en San Francisco, EEUU.



Fuente: Santamaría, J. (2009)

Las ventajas medioambientales inherentes al uso del vehículo eléctrico se pueden potenciar aún más en las instalaciones de recarga de estos vehículos. Estas superficies destinadas a efectuar la recarga de los vehículos eléctricos pueden ser dotadas de paneles fotovoltaicos con los que obtener de forma limpia una parte de la energía eléctrica empleada para la recarga.

Hay que considerar que la elevada dependencia de los combustibles fósiles en España, el previsible encarecimiento a medio plazo de los mismos, las negativas consecuencias sobre el medio ambiente de las energías convencionales y la incertidumbre real del futuro energético mundial, hacen aconsejable el desarrollo de

todos aquellos usos de energías autónomas y limpias que técnicamente han demostrado ser viables y competitivas.

Además, en términos de imagen del servicio de recarga de los vehículos eléctricos, la instalación de paneles fotovoltaicos en los puntos de recarga aporta una ventaja competitiva con la que contarán algunas instalaciones de recarga y otras no.

### 1.3. EL ÁMBITO DE LA INGENIERÍA QUÍMICA

Los procesos de recarga de las baterías de los vehículos eléctricos, así como los procesos de descarga de las mismas en el vehículo para la producción de energía eléctrica consumida en el motor, son ejemplos clásicos de transformación de materia y energía a causa de las reacciones químicas en el interior de las baterías.

Las baterías eléctricas actúan como acumuladores de energía, que puede ser recibida o cedida gracias al carácter reversible de las reacciones químicas de óxido-reducción o reacciones redox que se dan en las celdas galvánicas que integran la batería. En estas reacciones se transfieren uno o más electrones entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación y generando una corriente eléctrica. Se trata de procesos objeto de la ingeniería química.

Tabla 2. Eficiencia energética y otras características de las baterías actualmente disponibles.

| Tipo de baterías recargables  | Energía (Wh/kg) | Energía/volumen (Wh/litro) | Potencia/peso (W/kg) | Número de ciclos | Eficiencia energética % |
|-------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------|------------------|-------------------------|
| Zebra (NaNiCl)                | 125             | 300                        |                      | 1.000            | 92,5                    |
| Polímero de litio             | 200             | 300                        | > 3.000              | 1.000            | 90,0                    |
| Iones de litio                | 125             | 270                        | 1.800                | 1.000            | 90,0                    |
| Níquel hidrurometálico (NiMH) | 70              | 140-300                    | 250-1.000            | 1.350            | 70,0                    |
| Níquel cadmio (NiCd)          | 60              | 50-150                     | 150                  | 1.350            | 72,5                    |
| Plomo-ácido                   | 40              | 60-75                      | 180                  | 500              | 82,5                    |

Fuente: Santamaría, J. (2009)

Dependiendo del uso, precio, prestaciones y otras características requeridas, se emplean diversos tipos de baterías. En la tabla 2, vienen reflejados los principales tipos de baterías. [9]

Las características de las baterías recargables siempre han sido críticas en el desarrollo del vehículo eléctrico. Aunque el fabricante Tesla Motors tiene como objetivo una reducción del coste de las baterías de un 30% [15], el coste de un vehículo eléctrico depende de las baterías en un porcentaje determinante. El tipo y la capacidad de la batería condicionan la velocidad máxima, la autonomía entre recargas, el tiempo de recarga y la duración de la batería.

Sin embargo el esfuerzo de investigación dedicado a la tecnología de las baterías eléctricas ha sido muy pequeño en comparación con otras tecnologías. La capacidad

de almacenamiento de las baterías ha requerido diez años para duplicarse, y sólo en los últimos años con el desarrollo de la telefonía móvil se han empezado a realizar inversiones importantes.

Figura 4. Batería de iones de litio para un vehículo eléctrico.



Fuente: Santamaría, J. (2009)

En la actualidad, para el suministro de energía a los motores de los vehículos eléctricos las baterías más habituales son las de iones de litio (Li-Ion, figura 4). [3]

Su desarrollo es muy reciente y se ha debido a la telefonía móvil. Presentan una densidad energética aceptable, 0,125 kWh / kg, un volumen moderado, no son pesadas y además no sufren el efecto memoria. [16]

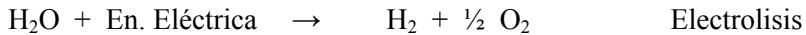
Sin embargo en la variable densidad energética reside la principal debilidad para la automoción eléctrica, así como la principal fortaleza de los vehículos con motor de combustión interna.

La gasolina tiene una densidad energética de 13 kWh / kg (8,9 kWh por litro), y el gasoil presenta 12,7 kWh / kg, frente a 0,125 kWh / kg de las baterías de iones de litio. [9]

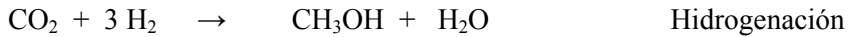
La mayor densidad energética de los hidrocarburos garantiza una mayor autonomía, a pesar de su ineficiencia para convertir la energía química almacenada en kilómetros recorridos. Además, se requieren sólo unos minutos para llenar el depósito, frente a las varias horas necesarias para recargar, en modo recarga lenta, los actuales vehículos eléctricos. Por otra parte existe toda una infraestructura bien desarrollada de gasolineras, frente a su ausencia en el caso de los vehículos eléctricos.

También la ingeniería química tiene entre sus objetivos el desarrollo de combustibles sintéticos. En 2014 se inauguró en Alemania una planta piloto, impulsada por Audi, para la producción de gasoil según el principio “*power to liquid*” (de energía a líquido). [17]

Esta producción de gasoil sintético se realiza en dos etapas. En la primera se emplea como materia prima agua y electricidad (de origen solar o eólico) para obtener mediante electrolisis hidrógeno y oxígeno.



La segunda etapa consiste en la hidrogenación a elevada presión y temperatura del dióxido de carbono mediante reacción con el hidrógeno obtenido en la primera etapa para dar metanol. A partir del metanol se obtienen hidrocarburos sintéticos derivados. [18], [19]



El producto obtenido es un líquido denominado “*blue crude*” (petróleo azul), que consiste en una mezcla de hidrocarburos de base parafínica, libre de azufre y compuestos aromáticos, que presenta un alto número de cetano. [17]

Recientemente en Japón, los equipos de investigación de las Universidades de Tokio, Kyoto y el Instituto Nacional de Ciencia de Materiales han desarrollado un nuevo electrolito que puede aplicarse a las baterías de iones de litio. Presenta una mezcla que es cuatro veces más concentrada, pero a pesar de ello ofrece una alta reactividad y una elevada resistencia a degradarse. Esto se traduce en una disminución a la tercera parte de los tiempos de recarga. [20]

Las baterías de polímero de grafeno son un desarrollo muy reciente en el que han participado investigadores de la Universidad de Córdoba y empresas españolas. Los resultados son prometedores tanto por alcanzar una densidad energética de 0,600 kWh / kg como por la reducción de peso, de tiempo de recarga, y por el aumento de la autonomía entre recargas. [21]

Serán necesarias más investigaciones en el ámbito de la ingeniería química para afrontar todos estos retos, que tendrán aplicación en la aeronáutica, en la automoción, en los componentes de informática, en la telefonía móvil e incluso en el suministro doméstico de energía. [22]

En el caso de España las investigaciones de las administraciones públicas deben venir acompañadas de una mayor eficacia en el logro de los objetivos marcados, así como de un marco transparente de colaboración público – privada capaz de afrontar las nuevas condiciones globalizadas de producción y comercialización. [23]

En este contexto es eficaz la protección de los resultados de las investigaciones científicas y tecnológicas mediante el registro de la propiedad industrial. [24]

## **2. EL VEHÍCULO ELÉCTRICO. INFRAESTRUCTURAS PARA SU EXPANSIÓN**

### **2.1. DESARROLLO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO. ESTADO TECNOLÓGICO ACTUAL**

Como ya se ha indicado, el vehículo eléctrico no es realmente un invento nuevo, incluso convivió a finales del siglo XIX con otros prototipos de automóviles impulsados por máquinas de vapor y por motores de combustión interna de ciclo Otto (gasolina) y de ciclo Diesel (gasoil).

Estas primeras experiencias tuvieron como resultado que a principios del siglo XX estaba ya hecha la opción por el motor térmico de combustión interna para la propulsión de los vehículos automóviles. En las condiciones tecnológicas de aquel momento, y dados los importantes recursos petrolíferos disponibles, era la mejor opción para los automóviles.

Sin embargo no se abandonó entonces el uso de la máquina de vapor para la propulsión por ferrocarril ni tampoco dejó de desarrollarse el motor eléctrico para la propulsión ferroviaria. De tal forma que en este sector, alrededor de la década de los 50 o los 60 del pasado siglo (dependiendo de los países), se produjo la sustitución de la locomotora de vapor por la locomotora eléctrica (con su variedad diesel – eléctrica) en el ámbito ferroviario.

Desde el inicio de la construcción de los automóviles eléctricos, el principal problema siempre ha sido el sistema de acumulación de la energía: las baterías. Incluso en la actualidad continúa siendo el principal freno tecnológico para la expansión de la movilidad eléctrica. Es por tanto un sector en el que las aportaciones de los ingenieros químicos incidirán notablemente en su crecimiento.

Los actuales diseños de vehículos eléctricos se benefician del desarrollo tecnológico de la fabricación de automóviles a lo largo del siglo XX en todos aquellos aspectos comunes a los vehículos de motor térmico: diseño estructural, seguridad activa y pasiva, aerodinámica, suspensión, frenos, sistema eléctrico, sistemas de seguridad, confort, ergonomía, etc.

Sin embargo el vehículo eléctrico es un producto que aún dista bastante de haber alcanzado la madurez en todos los aspectos de su diseño. La circulación de las primeras unidades comerciales de estos vehículos en nuestras ciudades, en el año 2008, 2009 o 2010, ha evidenciado problemáticas apenas imaginadas con anterioridad.

Así sucede con los escasos o nulos niveles de emisión sonora producida por estos vehículos. Lo que es una ventaja medioambiental indudable, es también un factor de riesgo de accidente en los pasos de peatones, ya que estos niveles tan bajos de ruido no responden a los patrones de detección sensorial de los viandantes.

### 2.1.1. ESTADIOS INTERMEDIOS: HÍBRIDOS E HÍBRIDOS ENCHUFABLES

Las limitaciones impuestas por las baterías a la expansión comercial del vehículo eléctrico han propiciado el desarrollo de soluciones intermedias entre los vehículos eléctricos y los de combustión interna, se trata de los vehículos híbridos.

Actualmente los vehículos eléctricos se pueden clasificar en:

1. Vehículos eléctricos puros (VE): aquellos en los que la red eléctrica carga unas baterías de tamaño importante que alimentan el funcionamiento de un único motor eléctrico. Los retos son el tamaño de las baterías, el precio, el peso, la infraestructura y la gestión de recarga. [25]
2. Vehículos híbridos (VEH, configuración mecánica en paralelo): cuentan con dos motores: un motor de combustión interna, generalmente de gasolina, que realiza la tracción principal del coche y permite cargar la batería conjuntamente con el freno de inercia, y un pequeño motor eléctrico de poca potencia que apoya la tracción y que es alimentado por una batería sin capacidad de conexión a la red. La batería es pequeña y la autonomía del vehículo es igual a la de un coche convencional. [25]
3. Vehículos híbridos enchufables, *plug-in hybrid* (VEHE): son coches híbridos con posibilidad de conexión a la red eléctrica. Cuentan con dos motores: uno de combustión interna y otro eléctrico. En la modalidad más extendida (configuración mecánica en serie), el motor de tracción es el eléctrico. Dispone de baterías más grandes y el motor de combustión interna sirve sólo para producir electricidad y no para mover el coche. En los primeros 60 Km usa solo electricidad y cuando la batería empieza a agotarse entra en funcionamiento el motor de gasolina. [25]

El desarrollo comercial de los vehículos eléctricos está abierto a las tres variedades de estos vehículos. Cada uno tiene sus fortalezas y debilidades.

Diversos fabricantes de automóviles han optado preferentemente por algunos de estos tipos, pero a priori nada permite concluir un crecimiento destacado de un tipo respecto a otro.

De hecho los expertos vaticinan un amplio periodo de coexistencia de todas estas variedades de vehículos eléctricos junto a los vehículos de combustión interna de gasolina y de gasoil. [26]

Se prevé que este periodo de coexistencia pueda extenderse a los próximos 15 o 20 años. Después se habría alcanzado la madurez tecnológica del nuevo tipo dominante de vehículo automóvil. [26]

### 2.2. INFRAESTRUCTURAS PARA EL VEHÍCULO ELÉCTRICO

Además del desarrollo tecnológico de las baterías, otro importante freno para el éxito comercial de los vehículos eléctricos es la necesidad de nuevas infraestructuras para su recarga. Ambas dificultades explican el desarrollo de los vehículos híbridos.

El combustible empleado por los vehículos eléctricos puros es la energía eléctrica recibida de la red eléctrica. En el caso de los vehículos híbridos enchufables también lo es a un mejor precio del combustible, dado que con la actual estructura de precios de los combustibles derivados del petróleo (fuertemente gravados por el impuesto de hidrocarburos) y de los precios de la energía eléctrica, la relación de precios es aproximadamente de 4:1. [27]

La circulación de los vehículos eléctricos (a excepción de los híbridos) requiere de la ejecución de una considerable red de puntos de recarga para los vehículos eléctricos. El crecimiento del parque de vehículos eléctricos irá ligeramente precedido en el tiempo por la instalación de esta red de puntos de recarga.

Desde hace muchos años, incluso una década, y dependiendo de las prestaciones de autonomía supuestas para el vehículo eléctrico comercial, se han estudiado varias estrategias para la red de puntos de recarga de vehículos eléctricos.

Por supuesto estas estrategias, analizadas en parte por empresas externas a la fabricación de automóviles, dependen de las opciones y decisiones de los fabricantes de la industria del automóvil en cuanto a las características del sistema de recarga.

Se pueden destacar principalmente dos sistemas de recarga.

1. La instalación de electrolinerías de sustitución de baterías, según el sistema empleado por ejemplo por la empresa californiana Better Place, en las que en unos pocos minutos se completa el cambio de baterías sin que el conductor tenga que bajarse del vehículo. [28]

Una cadena automatizada utiliza dos plataformas para llevar a cabo el proceso. La primera extrae la batería vacía de la parte inferior del vehículo. Una vez retirada, la segunda instala una batería cargada procedente del almacén de la estación de servicio. En ningún momento hay flujo de corriente eléctrica hacia el vehículo. [28]

2. La implantación de terminales que recargan las baterías permanentes instaladas en los vehículos eléctricos. Estos puntos están distribuidos en los domicilios de los propietarios y en diversos puntos de la red viaria: en los parkings públicos y privados, en las bandas de aparcamiento municipales junto a los acerados, en las actuales Estaciones de Servicio que incorporen esta nueva actividad o en nuevas electrolinerías. En todos estos casos, la batería del vehículo se recarga, no se sustituye.

Es evidente que la expansión de uno u otro sistema de recarga, o la coexistencia de ambos, depende de las decisiones estratégicas de diseño de los vehículos eléctricos establecidas por los fabricantes de automóviles.

En Europa, sin excluir otras opciones en el futuro, parece que los fabricantes están alineados con la opción de recargar las baterías en el vehículo. Renault, PSA Peugeot – Citroën, y los fabricantes alemanes llevan años desarrollando vehículos eléctricos con la hipótesis de este sistema de recarga.

### 2.3. EXPERIENCIA DE LA ROCHELLE (FRANCIA), DÉCADA DE LOS 90

Al margen de los primeros desarrollos de finales del siglo XIX, que no tuvieron continuidad en el ámbito del automóvil, se puede considerar que la primera crisis del petróleo, o crisis del petróleo de 1973, constituyó un revulsivo en los países desarrollados para retomar las investigaciones sobre el vehículo eléctrico. Una vez más se puede constatar el acierto del aforismo inglés “*Necessity is the mother of invention*”.

Así, en el año 1975, el fabricante automovilístico Renault conjuntamente con la empresa eléctrica francesa Electricité de France (EDF) realizaron la producción y pruebas de las versiones eléctricas de los modelos Renault 4, Renault 5 y furgonetas derivadas de turismos.

A estos desarrollos siguieron, en 1983 y 1986, otros centrados en la furgoneta de transporte ligero / medio Renault Master.

Figura 5. Ubicación de La Rochelle en Francia.



Fuente: Elaboración propia.

Todos estos primeros trabajos identificaron en las furgonetas de reparto urbano un nicho de mercado de fácil acceso para los vehículos eléctricos. Esta característica de mercado se mantiene en la actualidad, 30 años después.



Tanto en el ámbito de los desarrollos de vehículos eléctricos como en el de la implantación de infraestructuras de recarga, Francia ha sido un país pionero en el último cuarto del siglo XX.

Como se ha indicado en el punto 1.3, en aquellos países con escasa utilización del carbón, petróleo o gas natural para la generación eléctrica, la implantación del vehículo eléctrico reduce muy notablemente la dependencia de los combustibles fósiles.

En el caso de Francia, donde un elevado porcentaje de la generación eléctrica procede de la energía nuclear, el desarrollo del vehículo eléctrico adquirió un carácter estratégico para lograr la independencia energética.

Así, a mediados de los años 70 del pasado siglo, comenzó en la ciudad francesa de La Rochelle una experiencia piloto de integración del vehículo eléctrico en un ámbito urbano de movilidad limpia.

La ciudad de La Rochelle, de 75.000 habitantes, en la costa atlántica francesa, es conocida a nivel mundial por ser un emplazamiento privilegiado del vehículo eléctrico. [29]

En 1974, la ciudad de La Rochelle implantó uno de los primeros sectores peatonales de Francia. En 1981, la ciudad firmó con el Ministerio francés de Medio Ambiente un acuerdo sobre la lucha contra los diversos ruidos ligados, entre otras actividades, a la circulación motorizada.

En 1986, se utilizaron los primeros vehículos eléctricos por diversos servicios técnicos municipales, por Electricité de France (EDF), por La Poste (Correos), y rápidamente su uso llegó a ser cotidiano.

A lo largo de la década de los 90 la experiencia de La Rochelle fue estudiada y seguida como modelo de negocio desde diversos puntos de vista: PSA Peugeot - Citroën implantó en la ciudad un servicio de alquiler y mantenimiento de vehículos eléctricos, EDF ejecutó la instalación, el funcionamiento y el mantenimiento de los puntos de recarga y el Ayuntamiento de La Rochelle acondicionó un cierto número de plazas de estacionamiento donde los vehículos eléctricos podían recargar.

Por otra parte, todas estas experiencias se realizaron siguiendo un crecimiento armónico (no forzado) del parque de vehículos eléctricos. De hecho a fecha 6 de octubre de 1997, tan solo 157 vehículos eléctricos circulaban permanentemente dentro de la comunidad de La Rochelle.

### 2.3.1. RELACIÓN ENTRE PARQUE Y NÚMERO DE PUNTOS DE RECARGA

El caso de la ciudad de La Rochelle, resulta de gran interés para conocer la relación entre diversos parámetros de desarrollo de la expansión comercial del vehículo eléctrico (VE).

Esta temprana experiencia ha permitido reunir conocimientos sobre los vehículos, los terminales de recarga y los comportamientos de los usuarios. [29]

Dada la solidez del modelo seguido en esta ciudad, es conveniente tenerlo en cuenta para un desarrollo inteligente de la red de puntos de recarga de vehículos

eléctricos, especialmente en el ámbito urbano europeo en el que se pueden suponer analogías en los comportamientos humanos.

En la comunidad de La Rochelle los datos de los parámetros relevantes para la implantación de una red de puntos de recarga eran los siguientes en el año 1997: [29]

Figura 6. Punto de recarga VE Parking Universidad de La Rochelle.



Fuente: Elaboración propia.

3. Parque de vehículos eléctricos de 157 unidades en circulación a fecha 06/10/1997. Por tanto la densidad de vehículos eléctricos por habitante en La Rochelle era de  $2,0933 \cdot 10^{-3}$  V.E. / hab.
4. Instalados 11 terminales de recarga lenta.
5. Instalados 4 terminales de recarga rápida de 18 kW o de 35 kW en gasolineras.
6. En la mayoría de los casos la recarga se hace enchufando el vehículo a una toma de corriente doméstica.

En el punto 3.1 se indican las diferencias entre las velocidades de recarga: recarga lenta o recarga rápida.

### **3. EL MERCADO DE LA INSTALACIÓN Y LA EXPLOTACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE RECARGA. LA ELECTROLINERA**

#### **3.1. NUEVO MERCADO. SECTORES INTERESADOS EN INCORPORARSE**

Los vehículos con tecnología eléctrica de propulsión: el vehículo eléctrico puro, el vehículo híbrido y el vehículo híbrido enchufable, en gran medida constituyen un nuevo mercado, complementario del mercado del vehículo convencional. Estos vehículos amplían las opciones de movilidad existentes en la actualidad y, por sus características, prestaciones y funcionalidad, complementan la gama de medios de transporte.

El despliegue comercial de estos vehículos genera además dos mercados análogamente nuevos: el mercado de la instalación y el de la explotación de las infraestructuras para recarga del vehículo eléctrico.

Las características de novedad de estos tres mercados, la interrelación entre ellos y la necesidad de inversión para el desarrollo global de los tres mercados, ha provocado varios tipos de alianzas entre empresas del sector del automóvil, de la obra civil, de la energía eléctrica y del sector petrolero, con mayor o menor participación de las administraciones públicas.

Ejemplos de todo esto son el Plan Movele del IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía) del Ministerio de Industria, el acuerdo del Gobierno Vasco y Repsol para la creación al 50% de la Sociedad IBIL Gestor de Carga del Vehículo Eléctrico [30], el convenio de Renault – Nissan y el Gestor IBIL para ofrecer servicios de recarga de vehículos eléctricos en hogares [31], o las negociaciones de ACS y Seat para la construcción y gestión de infraestructuras de recarga de vehículos eléctricos. [32]

A pesar de todo es necesario ajustar cuidadosamente en el tiempo las inversiones en infraestructuras para la recarga de los VE, atendiendo al ritmo de crecimiento del parque.

Un estudio realizado en el Reino Unido sobre los puntos de recarga instalados por varios ayuntamientos en el periodo 2010 - 2012, muestra reducidas tasas de utilización. Así, menos de un tercio de los municipios tienen un punto de recarga que se use más de una vez a la semana, por otra parte en uno de cada seis municipios los puntos de recarga no se han usado durante un año, y además en el Noreste de Inglaterra algunos puntos de recarga nunca se han usado. [33]

En el mercado de las infraestructuras de recarga de vehículos eléctricos, en el caso de recarga de las baterías en el vehículo, existen en la actualidad tres tipos de recarga en función de la velocidad de recarga. [27]

1. Recarga lenta. Estándar AC II, con las siguientes características:
2. Tensión: 230 V CA Monofásica
3. Intensidad: 16 A
4. Tiempo: 5 – 8 horas

1. Recarga rápida. Estándar AC III, con las siguientes características:
  5. Tensión: 400 V CA Trifásica
  6. Intensidad: 32 A
  7. Tiempo: 30 – 40 minutos
8. Recarga ultrarrápida. Estándar DC CHA de MO, con las características:
  9. Corriente continua de elevado voltaje (400 V)
  10. Potencia: 43 kW
  11. Tiempo: 20 minutos

Los avances tecnológicos en el desarrollo de las baterías inducen otros tipos de infraestructuras de recarga. La empresa norteamericana Tesla Motors prevé lanzar al mercado nuevas baterías con gran capacidad de almacenamiento de energía que no sólo tendrían utilidad en el sector de la automoción sino que incluso podrían emplearse en el sector de las instalaciones eléctricas en viviendas. [34]

En combinación con sistemas autónomos de generación de energía eléctrica renovable, solar o eólica, estas baterías podrían almacenar suficiente energía para el suministro eléctrico semanal de una vivienda. [34]

### 3.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA ELECTROLINERA

Asumiendo la misma densidad de vehículos eléctricos por habitante expuesta en el punto 2.3.1 relativo a la comunidad de La Rochelle y asumiendo los mismos comportamientos de uso, se tiene que en una ciudad de alrededor de 50000 habitantes con un parque de 100 VE, mayoritariamente los vehículos serán recargados mediante tomas de corriente en los propios domicilios.

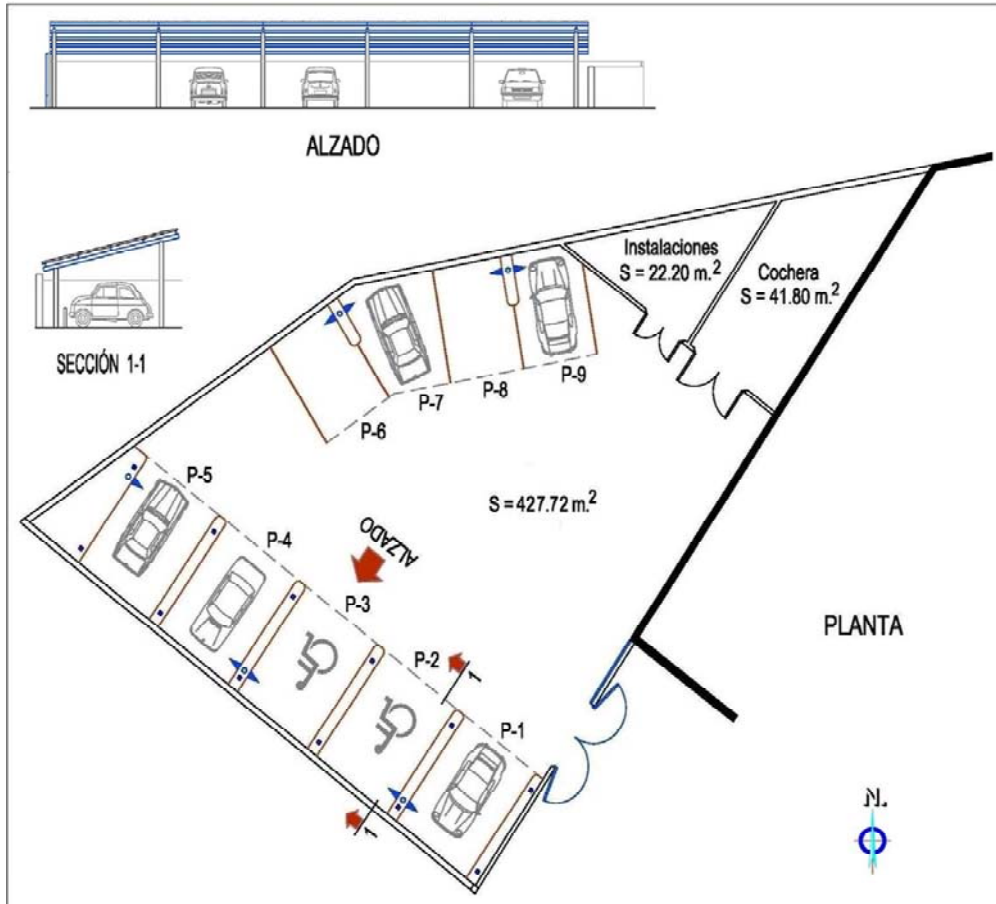
Además las necesidades adicionales de puntos de recarga lenta y de recarga rápida estarían cubiertas con un parking de recarga, electrolinera, provisto de dos plazas de recarga rápida y siete plazas de recarga lenta.

En la figura 7 se muestra el diseño de una electrolinera con estas características. La instalación dispone de dos plazas de recarga rápida (P-3 y P-4) que reciben el suministro desde un poste común trifásico 400 V a.c. de dos tomas.

Hay siete plazas de recarga lenta: P1 y P2, P6 y P7, P8 y P9 que se recargan desde postes monofásicos 230 V a.c. de dos tomas, mientras que la plaza P5 se recarga desde un poste monofásico 230 V a.c. de una toma.

En la instalación diseñada, las plazas P2 y P3 son de uso preferente, aunque no exclusivo, para minusválidos.

Figura 7. Distribución de puntos de recarga en una electrolinera.



Fuente: Elaboración propia.

Esta instalación de puntos de recarga para vehículos eléctricos ocupa un terreno con una superficie total de 491,72 m<sup>2</sup>. El parking de recarga tiene una superficie de 427,72 m<sup>2</sup>. La superficie restante es destinada a edificaciones auxiliares para elementos de la instalación y cochera.

En el recinto existe una marquesina de la que se muestra el alzado y la sección 1-1. Esta marquesina cubre cinco plazas, en concreto las plazas P1, P2, P3, P4 y P5. Las cuatro plazas restantes quedan a la intemperie. Se trata por tanto de una electrolinera parcialmente cubierta.

### 3.3. DISPOSITIVOS DEL SISTEMA DE RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Para la puesta en funcionamiento de una instalación de recarga como la indicada en el punto 3.2 existen en la actualidad empresas que fabrican y comercializan los dispositivos específicos para la recarga de los vehículos eléctricos, por ejemplo el fabricante español CIRCONTROL.

Esta empresa tiene una amplia experiencia en varias líneas de negocio: equipamientos para parking, detección de incendio y gases, identificación y control, sistemas de video vigilancia y también ha desarrollado la Gama CirCarLife de soluciones para recarga de vehículos eléctricos.

En las figuras 8, 9 y 10 se incluyen los tres tipos de postes de recarga de la Gama CirCarLife contemplados en la electrolinera descrita en el punto 3.2. Estos postes combinan una gran robustez frente al uso y al vandalismo con un diseño estético sobrio y elegante.

Figura 8. Poste recarga rápida. 2 tomas, trifásico 400 V CA, 42 kW, 32 A cada toma.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Poste recarga lenta. 2 tomas, monofásico 230 V CA, 7,2 kW, 16 A cada toma.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Poste recarga lenta. 1 toma, monofásico 230 V CA, 3,6 kW, 16 A.



Fuente: Elaboración propia.

Estos postes de recarga requieren para su funcionamiento la introducción por parte del usuario de una tarjeta prepago con saldo. La finalización del suministro de corriente eléctrica al vehículo, se produce por recarga completa de las baterías del vehículo o por agotamiento del saldo disponible en la tarjeta prepago.

#### **4. EMPLEO DE ENERGÍAS LIMPIAS PARA LA RECARGA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

##### **4.1. DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.**

Los esfuerzos para el logro de los objetivos de reducción de dependencia con respecto a los combustibles fósiles y de sostenibilidad en el desarrollo [1] se pueden realizar de forma transversal en multitud de ámbitos.

No es una idea nueva, pero en los Estados Unidos hay numerosos desarrollos que amplían la funcionalidad de las marquesinas instaladas en los aparcamientos de vehículos en superficie. Además de proteger a los vehículos de la radiación solar sirven como estructura de soporte para la instalación de módulos fotovoltaicos. [35]

La electrolinera descrita en el punto 3.2 dispone de una amplia marquesina en la que es posible instalar módulos fotovoltaicos. Asumiendo la ubicación de esta instalación en la provincia de Granada, en concreto en las coordenadas geográficas de latitud 37° 18'8" Norte y de longitud 3° 7'57" Oeste, las características climáticas y de radiación solar quedan determinadas, por lo que se puede realizar el dimensionamiento de esta instalación.

Para realizar un análisis preliminar de las necesidades de módulos fotovoltaicos se puede emplear el Software RETScreen4 de Análisis de Proyectos de Energía Limpia, desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales del Gobierno de Canadá. [36]

Con estas primeras estimaciones se opta por el módulo fotovoltaico de la empresa ISOFOTÓN, tipo monocristalino-Si ISF 150 para su empleo en esta instalación.

Las características de este módulo fotovoltaico se incorporan a los cálculos del Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS) desarrollado por el Centro de Investigación Conjunto de la Comisión Europea de Ispra, en Italia [37].

También se incorpora en el PVGIS la orientación (azimut SW +35° respecto S) e inclinación (12° respecto horizontal según pendiente de la cubierta) de la marquesina que soporta los módulos fotovoltaicos (ver figura 7).

El resultado de los cálculos de este software arrojan como conclusión, que con 50 módulos fotovoltaicos, de una superficie agregada de 50,15 m<sup>2</sup>, instalada sobre la cubierta de la marquesina del parking de la electrolinera, de 115,49 m<sup>2</sup>, se dispone de un suministro eléctrico con una potencia nominal pico de 7,5 kW.

En la tabla 3 se muestran los resultados de distribución mensual de la producción fotovoltaica de energía eléctrica en la instalación diseñada.

En España, la producción de energía eléctrica fotovoltaica acogida a la normativa vigente desde 2007 ha estado recibiendo primas por parte de la Administración hasta ser finalmente suprimidas según Real Decreto-Ley 2/2013 [38].



Esta ruptura del marco normativo de remuneración a las plantas fotovoltaicas ha causado la quiebra a muchos propietarios, ya que actualmente las instalaciones de producción de energía eléctrica fotovoltaica sólo reciben el pago correspondiente a los precios de mercado del *pool* (mercado del día antes) del sistema de generación eléctrica.

Tabla 3. Producción mensual de energía fotovoltaica generada en la electrolinera.



**Photovoltaic Geographical Information System**

European Commission  
Joint Research Centre  
Ispra, Italy

**Performance of Grid-connected PV**

**PVGIS estimates of solar electricity generation**

Location: 37°18'8" North, 3°7'57" West, Elevation: 912 m a.s.l.,  
Solar radiation database used: PVGIS-classic

- Nominal power of the PV system: 7.5 kW (crystalline silicon)
- Estimated losses due to temperature: 15.2% (using local ambient temperature)
- Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.1%
- Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
- Combined PV system losses: 29.4%

| Fixed system: inclination=12 deg.,<br>orientation=35 deg. |       |      |      |      |
|---|-------|------|------|------|
| Month   | Ed    | Em   | Hd   | Hm   |
| Jan   | 17.70 | 550  | 3.10 | 96.2 |
| Feb   | 21.40 | 598  | 3.81 | 107  |
| Mar   | 28.10 | 871  | 5.20 | 161  |
| Apr   | 30.60 | 918  | 5.77 | 173  |
| May   | 35.00 | 1080 | 6.73 | 209  |
| Jun   | 36.70 | 1100 | 7.27 | 218  |
| Jul   | 36.40 | 1130 | 7.31 | 227  |
| Aug   | 33.30 | 1030 | 6.63 | 205  |
| Sep   | 28.90 | 868  | 5.59 | 168  |
| Oct   | 23.10 | 717  | 4.30 | 133  |
| Nov   | 17.00 | 509  | 3.02 | 90.5 |
| Dec   | 15.10 | 468  | 2.63 | 81.6 |
| Year  | 27.00 | 820  | 5.12 | 156  |
| Total for year  |       | 9840 |      | 1870 |

- Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)
- Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)
- Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)
- Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m2)

Fuente: Comisión Europea.

A pesar de ello es económicamente viable la creación de nuevas instalaciones de generación fotovoltaica, ya que aunque la remuneración actual es mucho menor, la inversión se beneficia de la importante caída de precios de los paneles fotovoltaicos, que en los últimos 6 años han visto reducidos sus precios a la cuarta parte.

La previsión del precio de mercado del *pool* a largo plazo elaborada por ASIF (Asociación de la Industria Fotovoltaica) [39] también apoya la rentabilidad de estas instalaciones, si bien el periodo de retorno del capital, *payback*, se ha elevado en ausencia de primas de la Administración.

## 5. CONCLUSIONES

En un periodo histórico de importante desconcierto y con un horizonte de notable incertidumbre en nuestro país y en general en todas las economías desarrolladas, este trabajo pretende contribuir al desarrollo de nuevas actividades económicas basadas en nuevas tecnologías. [40]

Parece unánime la consideración de que la escasa presencia y la lenta implantación de las infraestructuras de recarga son un importante freno para el crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos y en general para la electrificación del transporte por carretera que en este momento aporta muchas ventajas.

Los sectores científicos y tecnológicos han de incrementar su cooperación para hacer frente en los próximos años a los retos que la sociedad demanda, especialmente en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de las emisiones contaminantes y sonoras, en el aumento del rendimiento energético de los sistemas de propulsión, en el uso de fuentes de energía renovable y en la sostenibilidad del ciclo de vida de los vehículos, mediante la utilización de materiales renovables y reciclables.

Es difícil imaginar que las sociedades desarrolladas admitan de buen grado reducciones en los niveles de confort del consumidor para el logro de estos objetivos. Por otra parte desde el punto de vista de la actividad económica no es previsible que los usuarios puedan asumir grandes incrementos en el precio de los productos y servicios ni que la industria pueda reducir sus beneficios, lo que aumenta la magnitud del reto. Quizás se requiera un replanteamiento de los conceptos básicos del vehículo y de su uso.

El logro de la rentabilidad de las instalaciones de recarga requiere localmente un umbral mínimo de tamaño del parque de vehículos eléctricos. En España se prevé una consolidación del parque de estos vehículos hacia el año 2020. [3]

La instalación de puntos de recarga o electrolinería contemplada en este trabajo recoge conocimientos y experiencias desarrolladas en otros países, que sirven para avanzar en un modelo de negocio que aún no está completamente definido.

La incorporación de paneles fotovoltaicos a la instalación de recarga incorpora al servicio un elemento de diferenciación y potencia sus características de actividad respetuosa con el medio ambiente (*eco-friendly*).

Otro aspecto que destaca en esta instalación fotovoltaica en la provincia de Granada es que con 50 módulos fotovoltaicos y una superficie agregada de 50,15 m<sup>2</sup>,

se produce diariamente la energía equivalente a la recarga lenta de un V.E. en los meses de otoño e invierno, y de dos V.E. en los meses de primavera y verano.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (1997): *Our Common Future: Brundtland Report*. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, Asamblea General de la ONU 4 agosto 1987, Nueva York. P. 416.
- [2] LOMBORG, B. (2005): *El ecologista escéptico*, Espasa Libros S.L., Barcelona. P. 640. ISBN 978-84-670-1954-4
- [3] APARICIO IZQUIERDO, F., LÓPEZ MARTÍNEZ, J.M. *et al.* (2010): *Vehículos híbridos y eléctricos*, Asociación Española de Profesionales de Automoción (ASEPA), Madrid. P. 149. ISBN 978-84-937576-0-1
- [4] THE LIBRARY OF CONGRESS. Prints and Photographs Division 101 Independence Avenue, SE Washington, D.C. 20540-4730, Estados Unidos.  
<http://www.loc.gov/rr/print/>
- [5] “El País” Edición digital (Consultado el 8 de diciembre de 2014).  
[http://economia.elpais.com/economia/2014/10/17/actualidad/1413553627\\_303994.html](http://economia.elpais.com/economia/2014/10/17/actualidad/1413553627_303994.html)
- [6] NATIONAL MUSEUM OF AMERICAN HISTORY. Smithsonian Institution National Mall, 14th Street and Constitution Avenue, N.W., Washington, D.C., Estados Unidos.  
<http://americanhistory.si.edu/>
- [7] “Wikipedia” Enciclopedia digital. Vehículo eléctrico. (Consultado el 11 de mayo de 2014).  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_el%C3%A9ctrico)
- [8] CARMONA, R. y JONES, E. (2008): Precios del crudo siglos XIX, XX y XXI: ¿Record o reto histórico? (Consultado el 18 de mayo de 2014).  
<http://energiaadebate.com/Articulos/marzo2008/imagenesmarzo2008/CarmonaExtended.pdf>
- [9] SANTAMARTA, J. (2009): El futuro del automóvil es eléctrico. *Técnica Industrial*, 281: 26-35
- [10] RUIZ HERNÁNDEZ, V. (1980): Apuntes de Termodinámica. Universidad de Sevilla, E.T.S. de Ingenieros Industriales. Departamento de Publicaciones. P. 176
- [11] APARICIO IZQUIERDO, F. (2012): Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. de Ingenieros Industriales. “Agencia Europa Press” Edición digital (Consultado el 20 de julio de 2012).  
<http://www.europapress.es/motor/sector-00644/noticia-millon-coches-electricos-gastaria-produccion-energia-electrica-20120720153612.html>
- [12] “Cotizalia” Diario digital. (Consultado el 14 de septiembre de 2009).  
[http://www.cotizalia.com/cache/2009/09/14/91\\_coches\\_electricos\\_representaran\\_entr\\_e\\_produccion\\_mundial.html](http://www.cotizalia.com/cache/2009/09/14/91_coches_electricos_representaran_entr_e_produccion_mundial.html)
- [13] “El Correo digital” Edición digital. (Consultado el 30 de octubre de 2009).  
<http://www.elcorreo.com/vizcaya/20091030/economia/pais-vasco-alia-repsol-20091030.html>

- [14] “El Economista” Diario digital. (Consultado el 7 de diciembre de 2011). <http://www.eleconomista.es/interstitial/volver/bolsa12/ecomotor/motor/noticias/3196561/06/11/El-82-de-los-espanoles-estaria-dispuesto-a-comprar-un-vehiculo-electrico.html>
- [15] “El Economista” Diario digital. (Consultado el 1 de agosto de 2014). <http://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias/5783002/05/14/Musk-reducira-en-mas-del-30-el-coste-de-baterias-para-los-coches-de-Tesla.html>
- [16] CERDÁ, H. (2014): Contra la tiranía de las baterías. *Técnica Industrial*, 307: 20-21
- [17] “El Economista” Diario digital. (Consultado el 2 de enero de 2015). <http://www.eleconomista.es/ecomotor/motor/noticias/6364354/01/15/Audi-ya-fabrica-ediesel-asi-obtiene-gasoleo-a-partir-de-agua-CO2-y-electricidad.html>
- [18] GOEPPERT, A., CZAUN, M., JONES, J.P., SURYA PRAKASH, G.K., OLAH, G.A. (2014): Recycling of carbon dioxide to methanol and derived products – closing the loop. *Chem. Soc. Rev.*, 2014, 43: 7995-8048
- [19] OLAH, G.A., GOEPPERT, A., SURYA PRAKASH, G.K. (2009): Chemical Recycling of Carbon Dioxide to Methanol and Dimethyl Ether: From Greenhouse Gas to Renewable, Environmentally Carbon Neutral Fuels and Synthetic Hydrocarbons. *The Journal of Organic Chemistry*, Vol. 74, Nr. 2: 487-498
- [20] “Motorpasionfuturo” Portal web. (Consultado el 7 de abril de 2014). <http://www.motorpasionfuturo.com/industria/un-nuevo-electrolito-promete-reducir-tres-veces-los-tiempos-de-carga-de-las-baterias-de-iones-de-litio>
- [21] “El Mundo” Edición digital. (Consultado el 18 de enero de 2015). <http://www.elmundo.es/economia/2014/12/04/547f577fca474183058b4578.html>
- [22] “Noticias españolas” Diario digital. (Consultado el 12 de febrero de 2015). <http://www.noticiasespanolas.es/index.php/185907/adios-a-la-factura-de-la-luz-teslallegara-a-los-hogares-en-seis-meses-noticias-de-tecnologia/>
- [23] DÍAZ HERNÁNDEZ, J.L., MIRANDA HERNANDEZ, J.M., SÁNCHEZ SOTO, P.J. (2013): Las patentes de invención como medio para la promoción y registro de los resultados científico-tecnológicos de investigación. *Acta Científica y Tecnológica*, 21: 17-27
- [24] MIRANDA HERNANDEZ, J.M. (2012): Figuras y sistemas de propiedad industrial para proteger la creatividad tecnológica. *Técnica Industrial*, 299: 28-36
- [25] Fundación Gas Natural – FENOSA. (Consultado el 11 de noviembre de 2011). <http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org>
- [26] HINOJO, J. (2009). CIRCONTROL, S.A. (Consultado en el Salón Internacional de la Seguridad Vial y el Equipamiento para Carreteras TRAFIC 2009, en IFEMA, Madrid).
- [27] MÉNDEZ ZUBIRÍA, P. (2011). ENDESA. (Consultado en las Jornadas de la Semana Europea de la Movilidad 2011, Sevilla).
- [28] “El Mundo” Edición digital. (Consultado el 13 de mayo de 2009). <http://www.elmundo.es/elmundomotor/2009/05/13/usuarios/1242203074.html>

- [29] EMBAJADA DE FRANCIA EN ESPAÑA / UNIDAD ELÉCTRICA, S.A. (UNESA) (1997): *Iº Encuentro Hispano – Francés del Vehículo Eléctrico*. Jornadas 14/15 octubre 1997, Madrid. P. 193. ISBN 84-923498-0-8
- [30] “IFEMAmotor” Portal web. (Consultado el 20 de octubre de 2010).  
<http://www.ifemamotor.ifema.es/modules/news/article.php?storyid=1558>
- [31] “Desenchufados” Portal web. (Consultado el 11 de septiembre de 2011).  
<http://desenchufados.net/se-firma-el-primer-acuerdo-para-la-instalacion-de-puntos-de-recarga-de-coches-electricos-en-hogares/>
- [32] “El Economista” Diario digital. (Consultado el 2 de noviembre de 2009).  
<http://www.economista.es/interstitial/volver/acierto/flash/noticias/1662826/11/09/A-CS-y-Seat-negocian-lanzar-en-conjunto-el-coche-electrico.html>
- [33] “BBC” Portal web. *Electric car charging points ‘not being used’*.  
[www.bbc.co.uk/news/uk-23527771](http://www.bbc.co.uk/news/uk-23527771) (Consultado el 13 de agosto de 2013).
- [34] “El País” Edición digital  
[http://economia.elpais.com/economia/2014/09/19/actualidad/1411129473\\_473481.html](http://economia.elpais.com/economia/2014/09/19/actualidad/1411129473_473481.html)  
(Consultado el 2 de febrero de 2015).
- [35] “The Washington Post” Edición digital  
<http://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2015/01/28/the-best-idea-in-a-long-time-covering-parking-lots-with-solar-panels/>  
(Consultado el 2 de febrero de 2015).
- [36] NATURAL RESOURCES DEPARTMENT. GOVERNMENT OF CANADA.  
<http://www.nrcan.gc.ca>  
RETScreen International Clean Energy Decision Support Centre.  
Varenes, Québec, Canada.  
(2011): *RETScreen4 Software de Análisis de Proyectos de Energía Limpia*  
<http://www.etscreen.net>
- [37] EUROPEAN COMMISSION JOINT RESEARCH CENTRE.  
Institute for Energy and Transport. I-21027 Ispra (VA), ITALY.  
(2008): *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*.  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [38] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO (2002): REAL DECRETO-LEY 2/2013 de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero (BOE del 2-2-2013, n.º 29, p. 9072 y ss.), Madrid.
- [39] COLLADO, E. (2011). Director Técnico de ASIF (Asociación de la Industria Fotovoltaica). Jornada de Energía Solar Fotovoltaica 29/09/11, Zaragoza.  
<http://unef.es/2011/09/jornada-solar-fotovoltaica-el-autoconsumo-fotovoltaico-en-espana/>  
(Consultado el 22 de julio de 2014).
- [40] MIRANDA HERNANDEZ, J.M. (2014): La crisis financiera desde 2007: ideas para un enfoque estructural. *Nieve y Cieno*, 60: 57-59