



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES

PROYECTO DE FIN DE GRADO

# INGENIERÍA DE VALOR PARA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

**Autor:** Luis Herrero Yáñez

**Director:** Miguel Tejero Yagüe

Madrid



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

Ingeniería de Valor para la Movilidad Eléctrica

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

curso académico 2020/21 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.: Luis Herrero Yañez

Fecha: 25/08/2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Miguel Tejero Yagüe

Fecha: 25/08/2021

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a todas aquellas personas que dais segundas y terceras oportunidades, especialmente, a mis padres, por permitirme estudiar en una de las mejores universidades de España.

Gracias a todos aquellos familiares que me habéis inculcado el interés por la Ingeniería desde pequeño, gracias a vosotros he descubierto un mundo realmente interesante en el cual espero y quiero poder aportar mi granito de arena a la sociedad.

Gracias a todos aquellos profesores que me habéis transmitido la pasión de la enseñanza, pues gracias a vosotros me he lanzado a dar clases particulares en diferentes materias. Lo cual me alegra un *ratino* cada semana. En especial, al director de este proyecto, Miguel Tejero, por su gran confianza y paciencia.

Gracias al resto de mi familia por transmitirme unos valores de generosidad, empatía y amor, alentándome a aprender otras ramas del conocimiento, como la literatura.

Gracias a mi hermana, pues intento ser cada día su persona de referencia, aunque a veces aprendo más de ella que lo que le pueda llegar a enseñar.

Gracias a Yakito, por animarme y acompañarme en aquellos caminos de Santiago.

Gracias a Thorchi, por hacerme compañía y mimarme todas esas noches de estudio.

Gracias a Cáceres y al Elías Ahúja, por llenarme de alegría. A todos aquellos amigos que me habéis acompañado en los mejores y peores momentos.

Gracias a Bea, por estar siempre ahí. Sin ti, esto no habría sido posible.

Gracias a usted, el lector, porque sin informado, un informe no tendría sentido.

Como dijo Carlos Fisas en *Historias de la historia: Espero que esta lectura sea entretenida y original, pero nunca que aquellas partes originales no sean entretenidas y que las partes entretenidas no sean originales.*



## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN DEL PROYECTO .....	9
ABSTRACT .....	13
SITUACIÓN .....	17
DEFINICIÓN.....	21
INTRODUCCIÓN – MOVILIDAD ELÉCTRICA.....	23
¿CUÁNTA ENERGÍA SE NECESITA?.....	23
¿CÓMO SE VA A GENERAR ESE AUMENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA?.....	27
NEXT GENERATION EU.....	31
¿CÓMO SE CONSUMIRÁ ESA ENERGÍA ELÉCTRICA?.....	32
EL EFECTO OSBORNE EN LA INDUSTRIA AUTOMOVILÍSTICA .....	33
ECONOMÍA COLABORATIVA Y MOVILIDAD COMPARTIDA.....	36
TENDENCIAS PRINCIPALES EN LA MOVILIDAD URBANA .....	37
EFECTOS DE LA MOVILIDAD COMPARTIDA .....	38
LA MOVILIDAD COMPARTIDA EN ESPAÑA .....	40
MADRID, UN EJEMPLO DE MOVILIDAD COMPARTIDA .....	40
LA NORMALIZACIÓN DEL <i>CARPOOLING</i> .....	41
LA DESCARBONIZACIÓN DE LA MOVILIDAD .....	43
EUROPA Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA .....	47
PACTO VERDE EUROPEO .....	48
UN TRANSPORTE SOSTENIBLE PARA TODOS.....	51
ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL.....	52
DEL COMBUSTIBLE FÓSIL A LA ENERGÍA ELÉCTRICA .....	52
SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO.....	53
CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO.....	53
CENTRALES HIDRÁULICAS DE BOMBEO .....	54
BATERÍAS CONVENCIONALES .....	55
EL HIDRÓGENO .....	56
OTROS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO.....	59
POTENCIALES NECESIDADES DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO .....	60
ESCALABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO .....	61
ALCANCE TEMPORAL DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO .....	62

EL PAPEL DEL HIDRÓGENO EN LA SOCIEDAD DEL FUTURO. RED ELÉCTRICA Y MOVILIDAD .....	63
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DEL HIDRÓGENO .....	65
APLICACIONES DEL HIDRÓGENO VERDE EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA RODADA ....	66
LA PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO.....	67
TIPOS DE VEHÍCULOS DE HIDRÓGENO .....	68
BATERÍAS DE ION-LITIO .....	69
DISEÑO DE LA BATERÍA DE ION-LITIO.....	71
MEJORA DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIAL DE LAS BATERÍAS DE LITIO.....	73
LOS BENEFICIOS DEL LITIO PARA LA MOVILIDAD Y LA ENERGÍA SOSTENIBLE .....	74
NIO: BATERÍAS DE ION-LITIO INTERCAMBIABLES.....	75
SUPERCARGADORES DE TESLA .....	77
OTROS FACTORES DETERMINANTES DE LA FUTURA MOVILIDAD ELÉCTRICA .....	79
INGENIERÍA DE VALOR PARA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA.....	81
ESCENARIO 1: LA IMPOSICIÓN DEL LITIO Y LA TIRANÍA DE LOS PUNTOS DE RECARGA .....	81
ESCENARIO 2: LA SOBERANÍA DE LAS BATERÍAS INTERCAMBIABLES .....	85
ESCENARIO 3: EL <i>BOOM</i> DEL HIDRÓGENO.....	87
ESCENARIO ARQUETIPO: LA SIMBIOSIS DE MUTUALISMO ENTRE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA RENOVABLE. LA INDUSTRIA ELECTROMOVILÍSTICA .....	89
SÍNTESIS .....	89
PUNTOS DE RECARGA FIJOS .....	91
<i>BIG DATA</i> E <i>INTERNET OF THINGS</i> PARA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA.....	92
ESTACIONES INTERCAMBIADORAS DE BATERÍAS.....	92
EL <i>BLOCKCHAIN</i> EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA Y LAS BATERÍAS DE ALQUILER ....	93
LA RESURRECCIÓN DEL LITIO: ECONOMÍA CIRCULAR PARA LAS BATERÍAS DE ION-LITIO.....	94
EL AUGE DE LA PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO.....	95
2040: LA GIRA DEL HIDRÓGENO VERDE .....	98
EL FUTURO DE LA HIDRÁULICA.....	99
ALINEACIÓN DEL PROYECTO CON LOS ODS .....	100
ANEXO A: ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN ESPAÑA .....	102
ENCARECIMIENTO DE LOS PERMISOS DE EMISIÓN DE CO2 .....	103
IRREGULARIDAD EN LA APORTACIÓN DE LAS RENOVABLES AL <i>MIX</i> ENERGÉTICO..	106

ANEXO B: EL MERCADO ELÉCTRICO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA.....	108
ANEXO C: ENERGÍA HIDROELÉCTRICA .....	110
BOMBEO HIDRÁULICO.....	110
LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN ESPAÑA.....	113
ANEXO D: MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO .....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	118



## RESUMEN DEL PROYECTO

En el presente proyecto se ha llevado a cabo una recopilación de datos acerca de la movilidad actual, las nuevas tendencias y cómo se está introduciendo la movilidad eléctrica; analizando las necesidades que requerirá su evolución durante las próximas décadas e ingeniendo un innovador sistema de infraestructuras, que deberá ser desarrollado por las empresas y al Estado, para lograr las sinergias necesarias entre la industria automovilística y el sector energético, consiguiendo alcanzar la neutralidad climática de emisiones para 2050.

**Palabras clave:** Movilidad, Transición, Eléctrica, Vehículo, Almacenamiento, Energético, Batería, Litio, Hidrógeno, Renovable, Industria, Europa, España, Carretera

El 11 de diciembre de 2019 fue aprobado por la *Comisión Europea (CE)* el *Pacto Verde Europeo* con la intención de guiar al continente hacia la neutralidad de emisiones en CO<sub>2</sub> antes del año 2050, cumpliendo así con las premisas expuestas en el *Acuerdo de París*.

Entre las medidas tomadas por el organismo europeo, se encuentra la necesidad de lograr la transición energética en la movilidad eléctrica, eliminando el total del uso de carburantes contaminantes en los transportes rodados por carretera.

Para alcanzar esta meta final, el organismo ha impuesto una serie de objetivos previos a los Veintisiete; en lo que a movilidad se refiere, destaca el cese de las ventas de turismos contaminantes, los vehículos de combustión interna, antes del 2035. Para lograr este objetivo, será necesario empezar a diseñar ya mismo el nuevo escenario de movilidad eléctrica.

Por otra parte, como mecanismo para impulsar al continente a superar la crisis económica derivada de la pandemia, se crea el *Mecanismo de Recuperación y Resiliencia*, basado en el *Fondo de Recuperación de la Unión Europea*, también conocido como *Next Generation EU*. Para la concesión de estas ayudas, Europa impone que los fondos deberán ir dirigidos, entre otros, a la descarbonización del sector energético y a la movilidad eléctrica.

Así, surge el objetivo de este proyecto: elaborar un plan de ataque que permita definir el escenario para la consecución de ambos objetivos. Aunque actualmente sean dos industrias que trabajan por separado, este estudio demostrará que, para conseguir uno de los dos objetivos, será también necesaria la consecución del otro.

Para obtener dichos logros, el presente estudio definirá cómo deberá plantearse la futura movilidad eléctrica para conseguir asentarse en el Estado Nacional y por qué esta será una de las piedras angulares que servirá de apoyo a la transición energética.

Por tanto, el presente documento se ha basado en el siguiente Esquema de Trabajo:



Ilustración 1: Esquema de Trabajo empleado en el Proyecto - Ingeniería de Valor para la Movilidad Eléctrica

Siguiendo el esquema de trabajo mostrado en la Ilustración 1, el presente estudio ha comenzado con el análisis del *statu quo* de la movilidad actual del español medio: cuánto se mueve, qué medios de transporte usa y cuáles son las nuevas tendencias en la movilidad urbana (como los vehículos compartidos y el aumento del uso de aplicaciones móviles) son algunas de las incógnitas a las que se ha respondido en este estudio.

Asimismo, se han analizado los motivos principales por los que los potenciales compradores de vehículos eléctricos todavía no se deciden a dar el paso hacia la transición eléctrica: carencia de garajes privados, sobrecostes de adquisición, dificultad para encontrar puntos de recarga, incomodidad de acceder a estos, excesivos tiempos de recarga en carretera, etc.

Basándose en estos comportamientos, el presente estudio ha explicado el efecto Osborne (reducción de las compras de vehículos por la indecisión de los compradores o la espera al momento óptimo de adquisición de un vehículo eléctrico) y qué consecuencias económicas tiene este fenómeno social en la industria automovilística. Asimismo, *q.e.d.* por qué es el momento de empezar a introducir mejoras disruptivas en la movilidad eléctrica.

Por otro lado, este estudio ha analizado el gasto energético que supone el sector del transporte en nuestro país, un 40% del total, superando al conjunto de la industria nacional. Si se desprecia el transporte aéreo, el marino y el ferroviario, la suma del total sigue superando el 30% del gasto energético total acometido en el país.

Puesto que las unidades de interés de este proyecto son las energéticas eléctricas, se ha calculado su equivalencia en GWh, concluyendo que, si se consiguen los objetivos propuestos de la descarbonización total de la movilidad terrestre rodada, así como una

cierta electrificación de la industria, pasadas tres décadas se duplicará el consumo eléctrico del país.

Atendiendo a las imposiciones de Europa y considerando las potenciales capacidades del territorio nacional para producir energía renovable, se ha considerado que España puede situarse a la cabeza de Europa como una de las mayores productoras de energía renovable.

Este cambio en la generación eléctrica acarreará unas fuertes irregularidades, que tendrán que solventarse mediante el despliegue masivo de sistemas de almacenamiento energético, hasta ahora basados en la energía hidráulica. He aquí las sinergias con la movilidad eléctrica.

Estos nuevos sistemas de almacenamiento energético sufrirán un desplazamiento geográfico, desde las actuales centrales hidroeléctricas reversibles y de bombeo puro, ubicadas en reservas acuíferas (naturales o artificiales), hasta las baterías de ion-litio de los vehículos eléctricos, situadas detrás del contador de las viviendas.

Previamente a garantizar esta supremacía de las baterías de ion-litio frente a otras tecnologías de la movilidad, se ha desempeñado un exhaustivo análisis de los diferentes métodos existentes hasta el momento, como la pila de combustible de hidrógeno, cuyo desarrollo todavía se encuentra en fase de investigación, requiriendo de grandes innovaciones.

No obstante, se ha analizado profundamente las diferentes formas que presenta el hidrógeno como vector energético, haciendo hincapié en el hidrógeno verde como sistema de almacenamiento energético a gran escala. Así, se han detectado nichos de mercado para testar la aplicabilidad de esta tecnología en la movilidad y almacenamiento en sistemas insulares.

Una vez analizado el H<sub>2</sub> y otros sistemas menos comunes de almacenamiento energético, se han aportado detalladas soluciones a esta apurada necesidad. Para llevar a cabo la transición energética en nuestro país, el litio será un elemento clave.

Respecto a los avances llevados a cabo en la movilidad eléctrica por parte de las mejores compañías del sector, se han destacado los siguientes avances basados en el ion-litio:

- Celdas 4680 y puntos de recarga ultrarrápidos de Tesla (y conducción autónoma)
- Estación de baterías intercambiables de NIO

Una vez definidos todos los retos y aquellos agentes que formarán parte de la transición energética en la movilidad, se ha sometido el estudio a proceso de Ingeniería de Valor, definiendo los posibles escenarios, identificando riesgos, ventajas y oportunidades.

Finalmente, se ha concluido en el escenario arquetipo; *i.e.*, aquel que maximiza las sinergias entre la red eléctrica y la industria automovilística, obteniendo el resultado de la Ilustración 2:



#### **PUNTO DE RECARGA en la VIVIENDA**

- CARGA NOCTURNA
- La batería CEDE ENERGÍA EN las horas de ALTA DEMANDA
- ALMACENA excedentes AUTOCONSUMO



#### **PUNTOS DE RECARGA en la VÍA PÚBLICA Y PARKINGS**

- CARGA NOCTURNA
- La batería CEDE ENERGÍA EN las horas de ALTA DEMANDA



#### **PUNTOS DE RECARGA en CARRETERA**

- RENOVABLE FOTOVOLTAICA
- ALMACENAMIENTO EXCEDENTARIO en CONTAINERS (REUSANDO BATERÍAS)



#### **HIDRÓGENO VERDE**

- ALMACENA ENERGÍA EXCEDENTARIA
- RENOVABLE en zonas POCO CONECTADAS
- APORTA FLEXIBILIDAD A LA RED



#### **PILA DE COMBUSTIBLE DE H<sub>2</sub>**

- AUTOBUSES
- SISTEMAS INSULARES



#### **ESTACIÓN de INTERCAMBIO de BATERÍAS URBANAS Y EN CARRETERA**

- DISMINUYE TIEMPOS
- RECARGA NOCTURNA
- La batería CEDE ENERGÍA en las horas de ALTA DEMANDA
- SEGURIDAD para el USUARIO
- SE ADAPTA AL MERCADO

#### **ESTANDARIZACIÓN DE LAS BATERÍAS**

- Permite UNIVERSALIZAR estas ESTACIONES
- MEJORA LA RED de DISTRIBUCIÓN URBANA
- RÁPIDA RESPUESTA ANTE EMERGENCIAS
- ABARATAMIENTO DE COSTES
- REDUCCIÓN de MATERIALES EMPLEADOS
- FACILITADA la 2ª VIDA de las BATERÍAS
- FACILITA el RECICLAJE de los COMPONENTES de las BATERÍAS

Ilustración 2: Resultado Gráfico de la Ingeniería de Valor

Se concluye en la necesidad de una red eléctrica fuertemente apoyada por el almacenamiento energético de las baterías de ion-litio para aplanar la curva de demanda eléctrica, la introducción de estaciones intercambiadoras de baterías, la estandarización de dichas baterías, el aumento de investigación en las pilas de combustible de H<sub>2</sub> y del hidrógeno verde como apoyo a las energías renovables; así como en la necesidad del esfuerzo del sector automovilístico por disminuir al mínimo el impacto medioambiental de las baterías de ion-litio: Reducir el consumo de minerales nocivos en las baterías, Reusar estas baterías (segunda vida) y conseguir Reciclar los minerales y componentes de las baterías, llegada el fin de su vida útil.

## ABSTRACT

In this project, it has been compiled data on current mobility, new trends and how electric mobility is being introduced; analysing the needs that will be required for its evolution over the coming decades and devising an innovative infrastructure system, to be developed by companies and the State, to achieve the necessary synergies between the automobile industry and the energy sector, achieving climate neutrality of emissions in 2050.

**Keywords:** Mobility, Transition, Electric, Vehicle, Storage, Energy, Battery, Lithium, Lithium, Hydrogen, Renewable, Industry, Europe, Spain, Road

On 11 December 2019, the *European Commission (EC)* approved the *European Green Deal* with the intention of guiding the continent towards CO<sub>2</sub> neutrality by 2050, thus complying with the premises set out in the *Paris Agreement*.

Among the measures taken by the European body is the need to achieve the energy transition to electric mobility, eliminating the total use of polluting fuels in road transport.

In order to achieve this final goal, the organisation has imposed a series of prior objectives on the EU-27; in terms of mobility, the most important of these is the cessation of sales of polluting cars, internal combustion vehicles, by 2035. To achieve this goal, it will be necessary to start designing the new electric mobility scenario right now.

On the other hand, as a mechanism to help the continent overcome the economic crisis derived from the pandemic, the *Recovery and Resilience Mechanism* was created, based on the *European Union Recovery Fund*, also known as *Next Generation EU*. In order to grant this aid, Europe imposes that the funds must be directed, among others, to the decarbonisation of the energy sector and electric mobility.

Thus, the objective of this project arises: to elaborate a plan of attack that allows to define the scenario for the achievement of both objectives. Although they are currently two industries that work separately, this study will show that, in order to achieve one of the two objectives, it will also be necessary to achieve the other.

In order to achieve these goals, this research will define how future electric mobility should be approached in order to gain a foothold in the nation state and why it will be one of the cornerstones supporting the energy transition.

Therefore, the present document has been based on the following Scheme of Work:

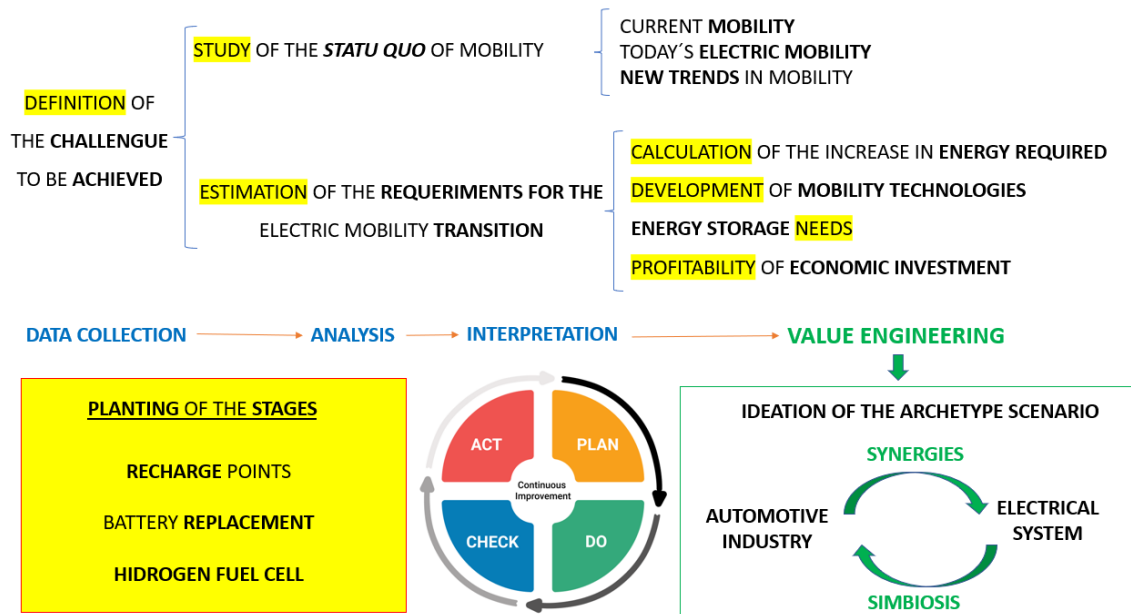


Illustration 3: Scheme of Work used in the Project – Value Engineering for Electrical Mobility

Following the work scheme shown in Illustration 1, this study began with an analysis of the current mobility status quo of the average Spaniard: how much they move, what means of transport they use and what are the new trends in urban mobility (such as shared vehicles and the increased use of mobile apps) are some of the questions answered in this study.

The main reasons why potential buyers of electric vehicles have not yet decided to take the step towards the electric transition have also been analyzed: the lack of private garages, additional acquisition costs, difficulty in finding recharging points, inconvenience in accessing them, excessive charging times on the road, etc.

Based on these behaviors, the present study has explained the Osborne effect (reduction of vehicle purchases due to buyers' indecision or waiting for the optimal time to purchase an electric vehicle) and what economic consequences this social phenomenon has on the automotive industry. Also, *q.e.d.* why it is time to start introducing disruptive improvements in electric mobility.

On the other hand, this study has analyzed the energy expenditure of the transport sector in our country, 40% of the total, surpassing the national industry as a whole. If air, sea and rail transport are disregarded, the sum of the total still exceeds 30% of the total energy expenditure in the country.

Since the units of interest in this project are electrical energy units, their equivalence in GWh has been calculated, concluding that, if the proposed objectives of total decarbonization of road mobility are achieved, as well as a certain electrification of industry, after three decades the country's electrical consumption will have doubled.

In accordance with European requirements and considering the potential capacities of the national territory to produce renewable energy, it has been considered that Spain

can be placed at the head of Europe as one of the largest producers of renewable energy.

This change in electricity generation will lead to major irregularities, which will have to be solved through the massive deployment of energy storage systems, until now based on hydropower. Here are the synergies with electric mobility.

These new energy storage systems will undergo a geographical shift from the current reversible and purely pumped hydroelectric power plants, located in aquifer reservoirs (natural or artificial), to the lithium-ion batteries of electric vehicles, located behind household meters.

Before guaranteeing this supremacy of lithium-ion batteries over other mobility technologies, a thorough analysis was made of the different methods existing to date, such as the hydrogen fuel cell, whose development is still in the research phase, requiring major innovations.

However, the different forms of hydrogen as an energy vector have been deeply analysed, with emphasis on green hydrogen as a large-scale energy storage system. Thus, market niches have been detected to test the applicability of this technology in mobility and storage in island systems.

Once H<sub>2</sub> and other less common energy storage systems have been analysed, detailed solutions to this pressing need have been provided. In order to carry out the energy transition in our country, lithium will be a key element.

With regard to the advances made in electric mobility by the best companies in the sector, the following lithium-ion-based advances have been highlighted:

- Tesla's 4680 cells and superchargers (and autonomous driving)
- NIO's battery swap station

Once all the challenges and agents that will be part of the energy transition in mobility have been defined, the study has been subjected to a Value Engineering process, defining the possible scenarios, identifying risks, advantages, and opportunities.

Finally, we concluded on the archetype scenario, *i.e.*, the one that maximizes the synergies between the electric grid and the automotive industry, obtaining the result shown in Illustration 2:



**RECHARGE POINT in the HOUSEHOLD**

- NIGHT LOAD
- The battery gives up power during HIGH DEMAND hours.
- STORAGE SURPLUS SELF-CONSUMPTION



**PUBLIC STREET RECHARGE POINTS AND PARKING SPOTS**

- OVERNIGHT LOADING
- The battery gives up power during HIGH DEMAND hours.



**RECHARGE POINTS on ROADS**

- RENEWABLE PHOTOVOLTAIC
- EXCEDENTARY STORAGE in CONTAINERS (REUSING BATTERIES)



**GREEN HYDROGEN**

- STORES SURPLUS ENERGY
- RENEWABLE in LITTLE CONNECTED areas
- BRINGS FLEXIBILITY TO THE NETWORK



**H2 FUEL CELL**

- BUSES - ISLAND SYSTEMS



**URBAN & ROAD BATTERY EXCHANGE STATION**

- DECREASES TIMES
- OVERNIGHT REFILL
- The battery gives up ENERGY during HIGH DEMAND hours.
- USER SAFETY
- ADAPTS TO THE MARKET

**STANDARDIZATION OF BATTERIES**

- It allows to UNIVERSALIZE these STATIONS
- IMPROVING THE URBAN DISTRIBUTION NETWORK
- RAPID RESPONSE TO EMERGENCIES
- COST REDUCTION
- REDUCTION of MATERIALS USED
- 2nd LIFE of BATTERIES ENABLED
- EASY RECYCLING of BATTERY COMPONENTS

Illustration 4: Graphical Value Engineering Result

It concludes on the need for an electricity grid strongly supported by the energy storage of lithium-ion batteries to flatten the electricity demand curve, the introduction of battery exchange stations, the standardisation of these batteries, the increase in research into H2 fuel cells and green hydrogen as a support for renewable energies; as well as the need for the automotive sector to make an effort to reduce the environmental impact of lithium-ion batteries to a minimum: Reduce the consumption of harmful minerals in the batteries, Reuse these batteries (second life) and achieve Recycle the minerals and components of the batteries, arrival at the end of their useful life.



## SITUACIÓN

El 9 de agosto de 2021 se publica el Quinto Informe de Evaluación<sup>1</sup> del IPCC<sup>2</sup> (*Intergovernmental Panel on Climate Change/Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático*), en el que “se concluye que, a menos que las emisiones de gases de efecto invernadero se reduzcan de manera inmediata, rápida y a gran escala, limitar el calentamiento a cerca de 1,5 ° C. o incluso a 2 ° C, será un objetivo inalcanzable.”<sup>3</sup>

En este informe, resultado del grupo para el medio ambiente creado por las Naciones Unidas, se aboga por la urgente necesidad de reducir drásticamente la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), siendo prueba clara que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el principal causante del cambio climático.

De acuerdo con la afirmación de Panmao Zhai, uno de los seis copresidentes del IPCC, “Si queremos estabilizar el clima será necesario reducir de forma sustancial, rápida y sostenida las emisiones de GEI para finalmente lograr cero emisiones netas de CO<sub>2</sub>... podría ser beneficioso tanto para la salud como para el clima”.

Afortunadamente, los países ya han empezado a concienciarse sobre el tema, como se comprometen en el importantísimo Acuerdo de París<sup>4</sup> sobre el cambio climático (22 de abril de 2016), siendo el primer acuerdo universal y jurídicamente vinculante en la materia. Poco después, el 5 de octubre del mismo año, el acuerdo es ratificado por la Unión Europea, comprometiéndose a hacer todos los esfuerzos posibles por disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Esta reducción de emisiones lleva intrínseca la mejora de la calidad del aire en las ciudades, por lo que se hace necesario establecer medidas para reducir la causa principal de esta contaminación urbanística, los vehículos con motores de combustión.

En esta línea, se elabora en España el *Primer Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética*, mediante el cual se pretende encaminar a la industria y a la sociedad hacia la neutralidad de emisiones antes del 2050<sup>5</sup>. Medida entre las cuales se incluye, la prohibición de la circulación de todos los vehículos contaminantes, *id est*, aquellos con motores basados en combustión interna (diésel o gasolina) o lleven integrados dicha opción (híbridos), así como aquellos impulsados por combustibles alternativos (GNC<sup>6</sup>, GLP<sup>7</sup>).

La única alternativa disponible parece clara, la contaminante movilidad terrestre debe transformarse en movilidad eléctrica sostenible. Esta transición conlleva una serie de

---

<sup>1</sup> <https://bit.ly/3xT5TDg>

<sup>2</sup> <https://www.ipcc.ch/>

<sup>3</sup> <https://bit.ly/3m94gPq>

<sup>4</sup> <https://bit.ly/3jZVroj>

<sup>5</sup> <https://bit.ly/3yg7t1W>

<sup>6</sup> Gas Natural Comprimido (GNC)

<sup>7</sup> Gas Licuado del Petróleo (GLP)

nuevos retos, desconocidos hasta el momento; retos que además desafiarán a la par a otros gigantes de la industria, como Red Eléctrica de España o las centrales de generación eléctrica.

Desafortunadamente, la inexistencia de un modelo que tomar como referencia dificulta la implementación de un adecuado sistema de gestión del problema. La instantánea necesidad de suplir a aquellos primeros usuarios ha provocado que la respuesta del mercado se haya adaptado a esa escasa demanda, teniéndose que conformar con las pérdidas económicas pagadas en concepto de ser de los primeros autoinvitados en entrar a formar parte del futuro reparto eléctrico.

Actualmente la movilidad eléctrica ya existe, pero tan solo representa un porcentaje ínfimo de la movilidad total, siendo necesario establecer un escenario que permita su óptimo desarrollo en la sociedad actual. En contra de lo previsto, la sociedad todavía se está resignando a mantener el hábito de adquirir Vehículos de Combustión Interna (VCI) frente a los Vehículos Eléctricos (VE), que ni siquiera alcanza las 13 000 ventas<sup>8</sup> en el YTD<sup>9</sup>, representando menos de un 2% del pastel.

La principal diferencia desde el punto de vista del usuario es simple, estos vehículos eléctricos ya no se recargarán energéticamente en un par de minutos, como ocurre con los VCI, los cuales simplemente hay que dirigir hacia una gasolinera para poder proveerse del combustible necesario. Se trata de una operación fácil, en la que el usuario o un trabajador de dicho establecimiento se encarga de rellenar el depósito del coche mediante una manguera, la cual accede en su otro extremo a otro depósito, mucho más grande y que se encuentra bajo tierra, del que extraer dicho volumen.

Por contraposición, los VE actuales tienen una serie de limitaciones frente a este proceso: el aprovisionamiento de energía desde un punto de recarga de la batería conlleva demasiado tiempo. Este intervalo de tiempo puede variar enormemente, en función de la potencia instalada en dicho surtidor de energía eléctrica y de la delimitada por el propio VE. Como es de esperar, a mayor potencia, mayor coste en la recarga y mayor coste de la producción del VE que la soporte.

Empresas en España como Iberdrola barajan magnitudes desde los 50 kW hasta los 350 kW, estas segundas permiten una recarga casi total de la batería en menos de una hora. Sin embargo, estos procesos de recarga súper rápida conllevan una serie de inconvenientes, entre los que se encuentran el elevado coste de la contratación de dicha potencia, así como el desgaste en la vida útil de la batería que este gran intercambio de potencia provoca.

Por tanto, una de las premisas necesarias para la recarga de estos coches es la elevada potencia eléctrica necesaria, siendo esta necesidad uno de los mayores problemas a afrontar tanto por el usuario, en primera instancia, como por la red, a gran escala. El usuario debe disponer de un punto de recarga en su residencia habitual, lo que le

---

<sup>8</sup> <https://bit.ly/3ssNg7R>

<sup>9</sup> Year-To-Date (YTD) Año hasta la fecha

condiciona a la tenencia o a la renta de un inmueble, público o privado, particular o residencial, en el que hacer uso de esta instalación de manera asidua.

Por otro lado, es importante atender al método de recarga en la vía pública. Actualmente, España cuenta con más de 3 600 estaciones de recarga, ubicadas en más de 2 000 localidades<sup>10</sup>. Iberdrola, una de las empresas líderes en nuestro país de este sector, cuenta con más de 5 000 puntos de recarga en la vía pública, y tiene un plan en el que, en los próximos cinco años, pretende desplegar hasta 150 000 puntos por todo el territorio nacional. La empresa espera que estas estaciones tengan una potencia instalada de 50, 150 o 350 kW.

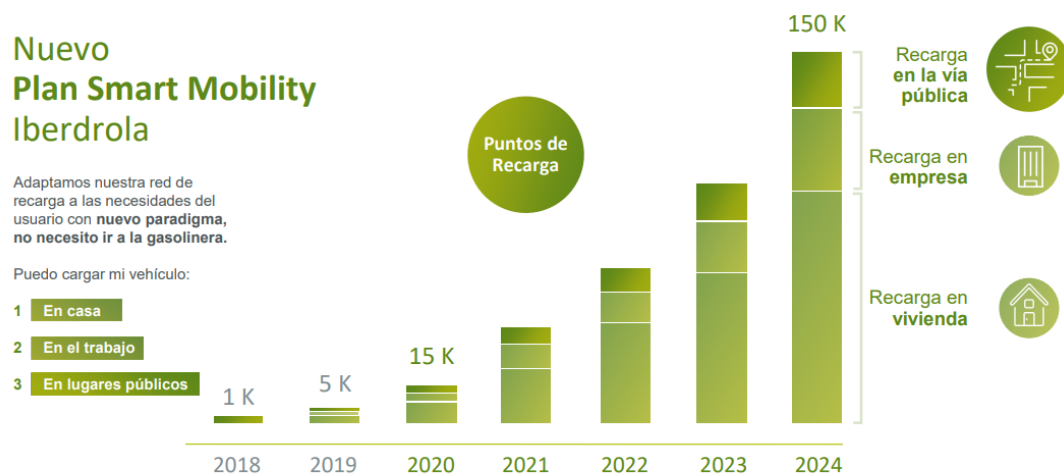


Ilustración 5: Plan Smart Mobility - Iberdrola<sup>11</sup>

Como dato, el precio de la instalación de un PR (punto de recarga) estándar de 7,4 kW en un garaje ya capacitado potencialmente es, según esta empresa, de unos 2 000 euros<sup>12</sup>. Aunque lo más típico, en el caso de comprarse un vehículo nuevo, es que el propio vendedor facilite la instalación al cliente.

En la vía pública, se está extendiendo la implantación de cargadores con una mayor capacidad para transferir energía, siendo los de 50 kW los de menos potencia. Se prevé que la acumulación de estos cargadores de gran potencia conlleve una serie de consecuencias negativas indirectas, relacionados con el sistema eléctrico:

<sup>10</sup> <https://bit.ly/3AT4kXR>

<sup>11</sup> <https://bit.ly/3z9my6Z>

<sup>12</sup> <https://bit.ly/3smOgle>

- Inestabilidad de la red frente a caprichosas y fuertes variaciones de la demanda.
- Incapacidad de transporte y distribución de la energía en grandes núcleos urbanos.
- Complejidad de integración a gran escala.

Hoy en día, en España ya existe un modelo que está bastante extendido entre los pocos propietarios de vehículos eléctricos, el cual se basa en el uso de dos tipos de puntos de recarga lenta: el primero, en el garaje de casa; el segundo, en ciertos aparcamientos privados que se encuentran en lugares de destino (trabajo, supermercados, autovías, etc.).

Por desgracia, este sistema presenta una serie de carencias desde el punto de vista del usuario, y es la incapacidad de poder realizar largos trayectos sin la posibilidad de recargar rápidamente el vehículo, así como el miedo de poder solucionar en cualquier momento y lugar la falta de energía.

Además, cuando se escala el problema a nivel nacional, se hace necesario solventar otros problemas de mayor trascendencia, aparte de los mencionados anteriormente, como es el casamiento entre energía eléctrica demandada y ofertada, derivados del aumento descontrolado de consumo energía eléctrica que esta transición va a provocar. Más adelante, se tratarán las dimensiones de este problema, tanto en magnitudes como en el *modus operandi*.

Actualmente, el método que emplean los vehículos eléctricos para almacenar energía se basa en baterías de ion-litio. Este tipo de baterías presenta ventajas como la alta eficiencia del sistema de almacenamiento frente al uso de esa energía. Pero presenta desventajas como el elevado coste en la producción de estas baterías, que actualmente supera el 20% del coste total de fabricación del vehículo<sup>13</sup>.

Por otra parte, existe el problema ligado a la actual escasez de litio y de otros minerales necesario para la fabricación de estas baterías, como el níquel y el cobalto. Empresas como Tesla prevén una insuficiencia de estos materiales para escalar la producción de estas baterías al nivel previsto para la presente década<sup>14</sup>.

Por otra parte, la aparición de nuevas tecnologías para el almacenamiento de energía eléctrica, como las baterías de hidrógeno, están intentándose desarrollar rápidamente con la mayor eficiencia posible (que actualmente solo ronda el 70%). Por ello, así como por la complejidad de la implantación de esta tecnología tan disruptiva, todavía se difiere en la utilidad de la aplicación de este sistema en la movilidad terrestre eléctrica.

---

<sup>13</sup> <https://bit.ly/3gv8Wf1>

<sup>14</sup> <https://bit.ly/3zkw4Eq> (Páginas 32-34)

## DEFINICIÓN

Para comenzar, es necesario empezar definiendo los términos que definen este proyecto, pues se necesita un enfoque claro del futuro (y ya presente) problema que aquí se trata de exponer, para poder así idear las soluciones óptimas que se puedan lograr no solo con la tecnología actual, sino también con aquellas que están surgiendo y evolucionando ferozmente en el mundo de hoy.

Así, se define *Ingeniería de Valor* como “aquel sistema en el que se analizan y aplican medidas correctivas a un bien o servicio en el cual se busca maximizar los recursos y disminuir los costos de producción, manteniendo su funcionalidad, calidad y confiabilidad inicial o, a ser posible, mejorándolas; todo esto sin dejar de lado las expectativas del cliente”<sup>15</sup>.

Como buen simplicista, se ha extraído adrede dicha definición del portal de información más empleado a nivel mundial, *Wikipedia*. En orden con esta universalidad de entendimiento, se procederá en este informe a resolver los problemas existentes que aquí se plantean desde el punto de vista más pragmático posible, de manera que se resuelvan los problemas globales mediante soluciones locales pero universalizables.

Por otro lado, se conoce como *Movilidad* al “conjunto de desplazamientos, de personas y mercancías, que se producen en un entorno físico (en este proyecto se tomará como escenario el íntegro ámbito nacional, es decir, desplazamientos urbanos e interurbanos, incluyendo entre los urbanos a aquellos de carácter rural)”<sup>16</sup>.

Esta segunda definición se elaboró por la Organización de Ecologistas en Acción ya en el año 2007. La curiosidad de ello reside en el hecho de que este conjunto buscaba la obtención a medio plazo de una transición hacia una movilidad más sostenible, la cual hoy en día nos ha llevado al camino que estamos siguiendo la mayoría de los miembros de la Unión Europea, entre otros.

Esta concepción de la movilidad nos redirecciona directamente al último término de nuestro título: *eléctrica*, “que funciona mediante electricidad”<sup>17</sup>. Y es que la movilidad del mañana será eléctrica, o no será. En España se prevé que el *Primer Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética* logre impulsar el marco nacional hasta alcanzar la neutralidad de emisiones a más tardar en 2050<sup>18</sup>.

Hasta esa fecha podrán visualizarse en las carreteras vehículos cuya energía proceda de distintas fuentes: motores eléctricos (electricidad, la cual irá tendiendo a tener orígenes más sostenibles) y motores de combustión de fósiles (diésel y gasolina), así como de una combinación de ambos (híbridos); además de aquellos propulsados por gas (GLP y GNC)

---

<sup>15</sup> <https://bit.ly/3jf8TFN>

<sup>16</sup> <https://bit.ly/2XWWRsv>

<sup>17</sup> <https://bit.ly/3jeUIG2>

<sup>18</sup> <https://bit.ly/3sJLIMp>

Afortunadamente, solo la primera de ellas prevalecerá (Vehículos Eléctricos, VE de aquí en adelante; o bien BEV, *Battery Electric Vehicle*), pues se ha comenzado una carrera imparable hacia la sostenibilidad total, o lo que es lo mismo pero escrito de otra forma, se ha declarado la guerra a los combustibles fósiles.

Ante este drástico pero necesario cambio, saldrán mermados principalmente dos grandes sectores: las centrales de punta, siendo los combustibles fósiles las materias primarias empleadas para dicha generación; y los motores de combustión (*Fossil Fuel Vehicles*, FFV; o bien, Vehículos de Combustión Interna, VCI).

Por ende, se llega a la conclusión de que esa reducción de energía consumida por los VCI en forma de combustible tendrá que pasar a ser consumida en forma de energía eléctrica por los nuevos VE que vendrán a reemplazarles.

Además, cabe resaltar la variación en la forma de generación de energía eléctrica en un futuro, siendo necesario eliminar las centrales de punta, así como las nucleares (aunque el motivo de estas segundas no sea la contaminación del aire). Esto repercutirá en una mayor irregularidad en la curva de generación, al depender de las fuerzas naturales, y una mayor incapacidad para corresponder generación con demanda instantánea de energía. Entrarán aquí sistemas de almacenamiento energético como las centrales hidroeléctricas o, como se pretende defender en este proyecto, las baterías de los VE.

Cabe entonces hacerse la primera pregunta: ¿estamos preparados energéticamente para abastecer al sector transporte en estas condiciones?

## INTRODUCCIÓN – MOVILIDAD ELÉCTRICA

Previamente se ha definido en este proyecto qué es la movilidad eléctrica, ahora se procede a identificar los parámetros que la conforman.

Los valores de estos parámetros se transformarán a unidades eléctricas de magnitud, de manera que se puedan hacer comparaciones con los consumos actuales de energía eléctrica.

Lo primero que se necesita saber para responder a la incógnita de cómo debe prepararse el mercado ante este complejo desafío es:

### ¿CUÁNTA ENERGÍA SE NECESITA?

Según cifras del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), organismo derivado del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), en España el transporte es el sector que más energía consume en España, alcanzando un 40% del total nacional<sup>19</sup>, siendo un 37,5% de este sector el procedente de los turismos convencionales. Es decir, del total energético nacional, el consumido por los turismos representa el 15%.

Además, otro 15% sobre el total lo cubren las furgonetas, los camiones ligeros y pesados, y otros transportes ligeros como motocicletas. El 10% restante es consumido por los transportes marítimos, aéreos y ferroviarios. Este proyecto se centrará sobre ese 30%, constituido por la movilidad terrestre rodada por carretera.



Ilustración 6: Reparto del Consumo Energético en España (IDAE)

<sup>19</sup> <https://bit.ly/3msA7uJ>

De primeras puede sorprender el alto porcentaje en el *mix* de consumo energético total, pero para poder analizar el peso que este consumo representa, es necesario usar valores absolutos que nos permitan equiparar esta energía, usualmente en forma de derivados del petróleo, con energía eléctrica. Para ello, volverán a emplearse datos facilitados por el IDAE.

En el año 2018 se contabilizaron en España unos 37 Mtep (Millones de toneladas equivalente de petróleo) de energía vinculada directamente al consumo del sector transporte<sup>20</sup>. Es importante aclarar que este consumo no tiene en cuenta la energía destinada a la producción de cualquier tipo de producto destinado a la producción, sino únicamente aquel consumo derivado directamente del uso del transporte (gasolina, diésel, etc).

Dentro de estos 37 Mtep, es necesario eliminar el consumo de varios sectores de transporte: combustibles destinados tanto a la aviación como al sector marítimo, oleoductos y otros transportes no especificados (maquinaria de campo, globo, etc.), así como el destinado al sector ferrocarril, pues el tema de estudio de este proyecto está acotado únicamente a estudiar la movilidad terrestre por carretera.

Así, se obtiene un total de unos 28 Mtep consumidos en los transportes por carretera a nivel nacional, siendo ínfimo el consumo representado por la automoción eléctrica (0,01 Mtep en el 2018<sup>21</sup>, cifra que, a pesar de haber aumentado en estos dos últimos años, sigue siendo despreciable frente al consumo de combustibles fósiles).

Para facilitar la comparación, es necesario hacer la transformación a TWh, pues la finalidad de hallar este consumo es su posterior comparación con el consumo eléctrico actual de la nación.

1 toe = 11 630 KWh → entonces → 28 Mtoe = 325,64 TWh

Cabe añadir que el propio IDAE facilita otros factores de conversión<sup>22</sup> extra, como puede apreciarse en la Ilustración 7, mediante los cuales distingue entre la tep vista como energía final (la energía que posee el barril de gasolina como tal) y la energía primaria de la que procede (la energía necesaria para obtener dicho barril de gasolina, esto es el petróleo del que procede y la energía empleada en su transformación).

---

<sup>20</sup> <https://bit.ly/3kqAL9e>

<sup>21</sup> <https://bit.ly/3DfxJx8>

<sup>22</sup> <https://bit.ly/3B7jXuP>



FUENTE ENERGÉTICA	CONSUMO FINAL DIRECTO		ENERGÍA PRIMARIA <sup>(1)</sup>		FACTOR DE EMISIÓN <sup>(2)</sup>
	tep	Volumen específico	tep	MWh	tCO <sub>2</sub> /tep
Gasolina	1	1.290 l	1,10	12,79	2,90
Gasóleo A y B	1	1.181 l	1,12	13,02	3,06

Ilustración 7: Factores de Conversión de Energía Final y de CO<sub>2</sub> (IDAE)

Esto significa que dicho cálculo debería ser dividido entre 1,1 para una mayor precisión. Puesto que el objeto de este estudio es hacer una estimación de aquí a tres décadas sobre el consumo eléctrico nacional, ir al decimal sería incongruente.

Es decir, el propio proceso de transformación del petróleo en gasolina o gasoil conlleva un elevado gasto energético, por no mencionar la elevada explotación del terreno y la liberación de gases de efectos invernadero derivados de la extracción y variación de esta materia prima. Estos segundos datos únicamente nos serán de apoyo a la hora de hacer una lista de pros medioambientales a dicha transición eléctrica en la movilidad.

Volviendo a la conversión energética: equiparando el consumo energético en forma de gasolina/diésel a consumo eléctrico, si el uso del transporte se mantuviese constante hasta el 2050, en España se consumirían unos 300 TWh anuales solo en energía necesaria para abastecer dicha movilidad.

Más adelante se hará también referencia al interés de la Comisión Europea por conseguir que la industria se electrifique, eliminando la combustión de fósiles (como el gas natural, la gasolina o el diésel), y del reto que supondrá esta transformación.

En este mismo año (2018) del que se han extraído los datos relacionados con el consumo de la movilidad, la cobertura total de la demanda eléctrica peninsular fue de unos 250 TWh<sup>23</sup>, como puede verse en la Ilustración 8 gracias a los informes publicados por Red Eléctrica de España:

<sup>23</sup> <https://bit.ly/3Bbt0uQ>

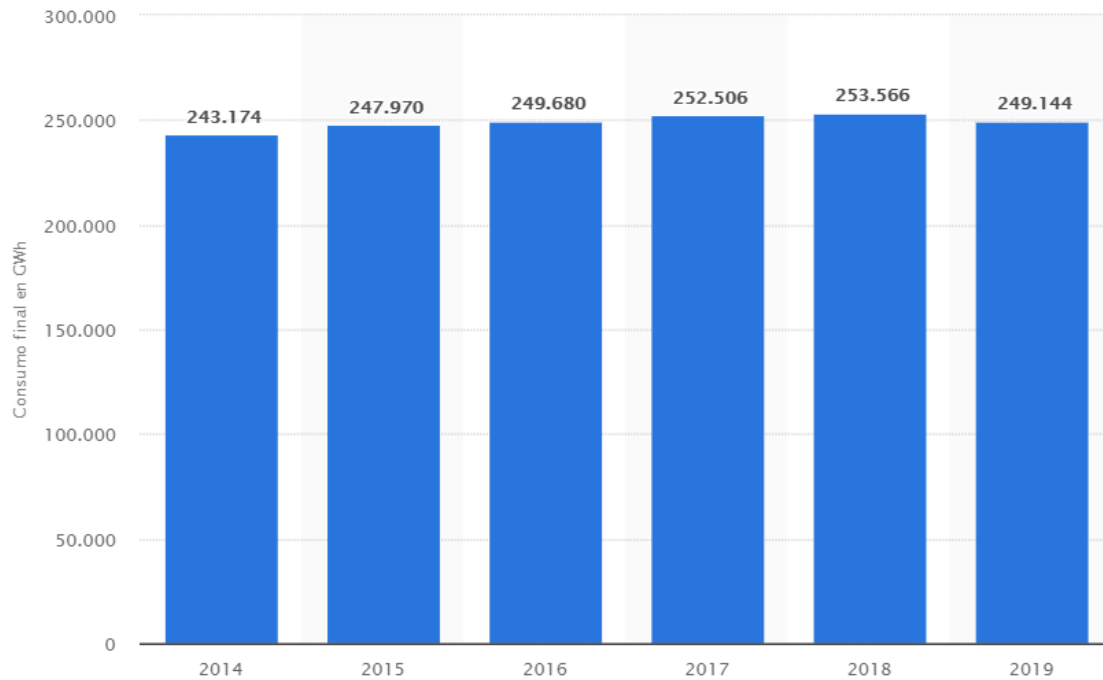


Ilustración 8: Consumo anual de energía eléctrica, en GWh (2014-2019)

Esto significa que, si actualmente toda la movilidad fuese eléctrica, sería necesario producir más del doble de energía producida hasta el momento.

La compañía *Bloomberg* ha publicado una estimación del aumento de energía eléctrica que supondrá a nivel mundial el cese de los vehículos de combustión interna, estimando este aumento en tan solo un 25% del total para 2050. No obstante, la empresa ha supuesto que no se logrará este reto para la fecha propuesta, pues acarrearía pérdidas económicas.

En la siguiente gráfica, facilitada por dicha empresa en su último estudio sobre la materia<sup>24</sup>, puede apreciarse cómo, por ejemplo, ni siquiera la mitad de los camiones (48%, color verde) conseguirán ser electrificados.

<sup>24</sup> <https://bit.ly/3keORut>

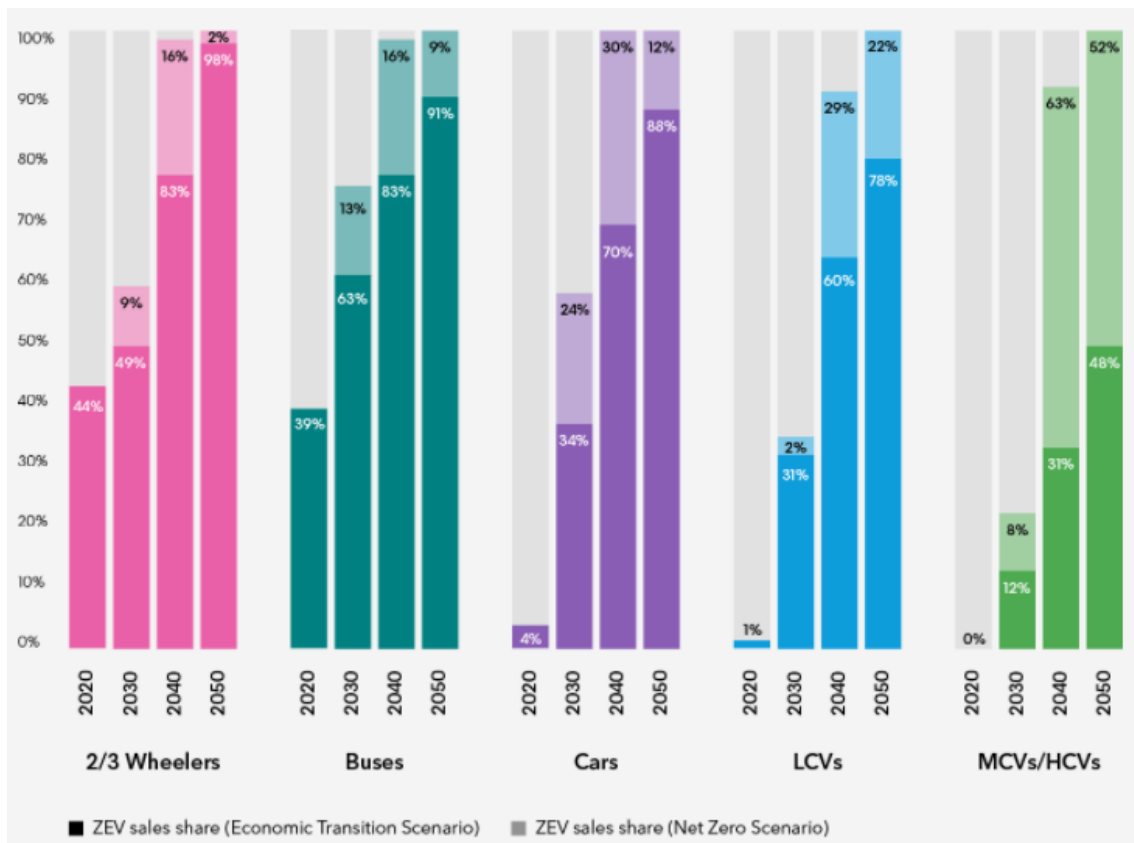


Ilustración 9: Estimación del Escenario del Transporte a Nivel Mundial

Este incremento del consumo eléctrico del 25%, según el autor del presente proyecto, se verá aumentado en países en los que el transporte suponga el mayor sector de consumo energético del país, como es España. Además, Europa velará por la consecución de sus objetivos de manera más férrea que otros países del globo, menos avanzados en la materia de la sostenibilidad y las energías renovables.

Lo primero que se haya al comenzar a desglosar el reto a afrontar, es esto, el hecho de que esto vaya a implicar un aumento en la producción de energía eléctrica, y no de magnitudes asequibles, sino un tremendo aumento del consumo a gran escala. Por lo tanto, nos surge la siguiente pregunta:

### ¿CÓMO SE VA A GENERAR ESE AUMENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA?

Para poder estimar cómo se generará esa inmensidad de energía eléctrica en el año 2050, será necesario comenzar analizando cómo se supe la demanda eléctrica peninsular actual, para ello, se muestra claramente a continuación, en la Ilustración 10, cómo se repartió el total de la tarta en el año 2018:

### Cobertura de la demanda eléctrica peninsular. Año 2018 (%)

■ Nuclear	20,6%	■ Eólica	19,0%
■ Carbón	13,5%	■ Hidráulica	13,2%
■ Ciclo combinado	10,2%	■ Solar fotovoltaica	2,9%
■ Cogeneración	11,2%	■ Solar térmica	1,7%
■ Residuos no renovables	0,9%	■ Otras renovables	1,4%
■ Turbinación bombeo <sup>(1)</sup>	0,8%	■ Residuos renovables	0,3%
		■ Saldo importador de intercambios internacionales	4,3%

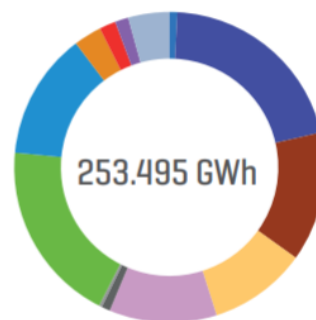


Ilustración 10: Demanda eléctrica peninsular (2018)<sup>25</sup>

De primeras, se observa que en el 2018 un 20,6% se obtuvo en las centrales nucleares, las cuales ya se sabe que no estarán presentes a partir del 2035, pues según lo contemplado en el PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima) 2021-2030, se pretende proceder al cierre escalonado y ordenado de todas las centrales nucleares nacionales<sup>26</sup>, en orden con lo acordado en el Plan Estratégico en Tecnologías Energéticas (Acción 10 del SET-Plan, Comisión Europea).

Asimismo, y en orden con el Acuerdo de París<sup>27</sup>, España seguirá por el camino hacia las energías renovables, desprendiéndose de aquellas fuentes de energías perjudiciales para el medio ambiente por el aumento del efecto invernadero que estas provocan. Es decir, se busca un sistema de plena generación limpia, con los beneficios y complicaciones que esto vaya a acarrear.

Pero esto no es algo nuevo, sino que es algo que ya llevaba persiguiéndose durante años, siendo España un fidedigno ejemplo del impulso que estas energías renovables están teniendo en la cobertura de la demanda actual. A continuación, se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** cómo las renovables representan cerca de un 40% en la actualidad, en la dirección correcta a la meta propuesta, pero lejos de llegar a ella.

Como buena nueva, el pasado año 2020 se batió el récord en España de generación renovable, con un 45,5% del total. A continuación, se adjunta una gráfica extraída del Informe del Sistema Eléctrico Español del 2020, publicado en abril de este 2021:

<sup>25</sup> <https://bit.ly/2WpE1t5> (Página 16)

<sup>26</sup> <https://bit.ly/3kpMBAu> (Página 76)

<sup>27</sup> <https://bit.ly/3kmb6P8>

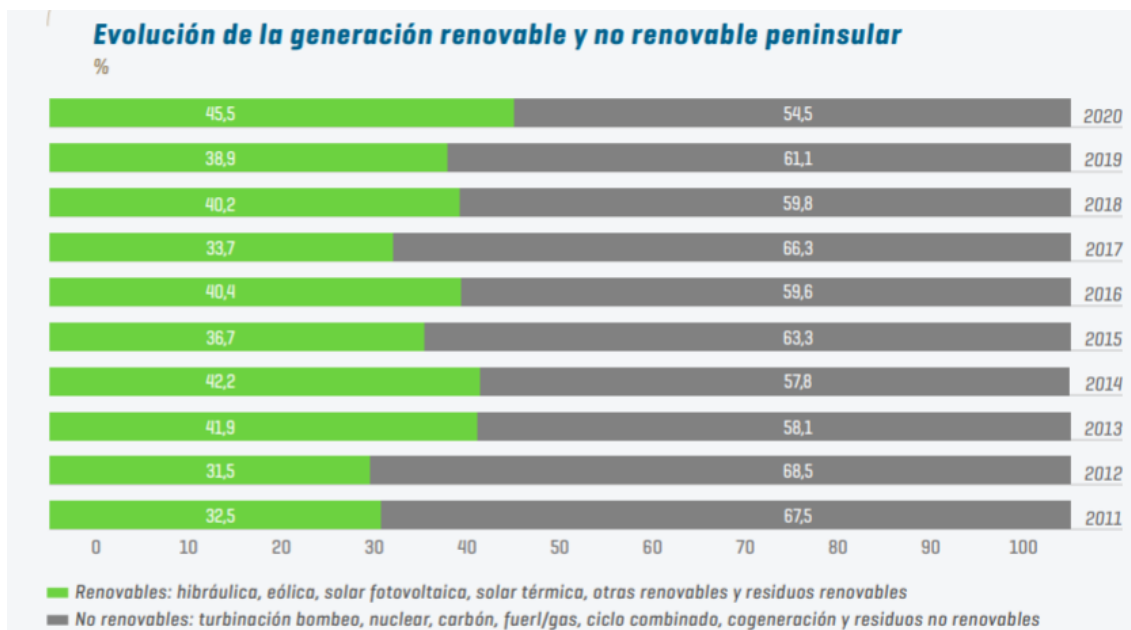


Ilustración 11: Evolución de la Generación Renovable y No Renovable Peninsular [2011-2020] <sup>28</sup>

Por suerte para el medio ambiente y, por ende, para nosotros, se estima que para el 2050 Europa se encuentre en un escenario energético prácticamente renovable, lo que significa que estará marcado por la irregularidad, en el que nuevos actores reguladores capaces de almacenar energía entren en juego, como pueden ser las grandes baterías de hidrógeno que se están comenzando a desarrollar u otros protagonistas que surjan de esta necesidad, como el apoyo de los vectores energéticos empleados para la movilidad eléctrica, según se defiende en este informe.

Si se quiere entender cómo se ha producido este aumento de generación renovable, independientemente de las ligeras variaciones medioambientales que hayan podido ocurrir (un poco más de viento, cielos más despejados o mayor volumen de lluvias), las cuales son relativamente despreciables, hay que atender al crecimiento en las instalaciones de estas estructuras renovables, especialmente la solar fotovoltaica, como puede analizarse en la siguiente gráfica de REE:

<sup>28</sup> <https://bit.ly/3mdDMME> (Página 24)

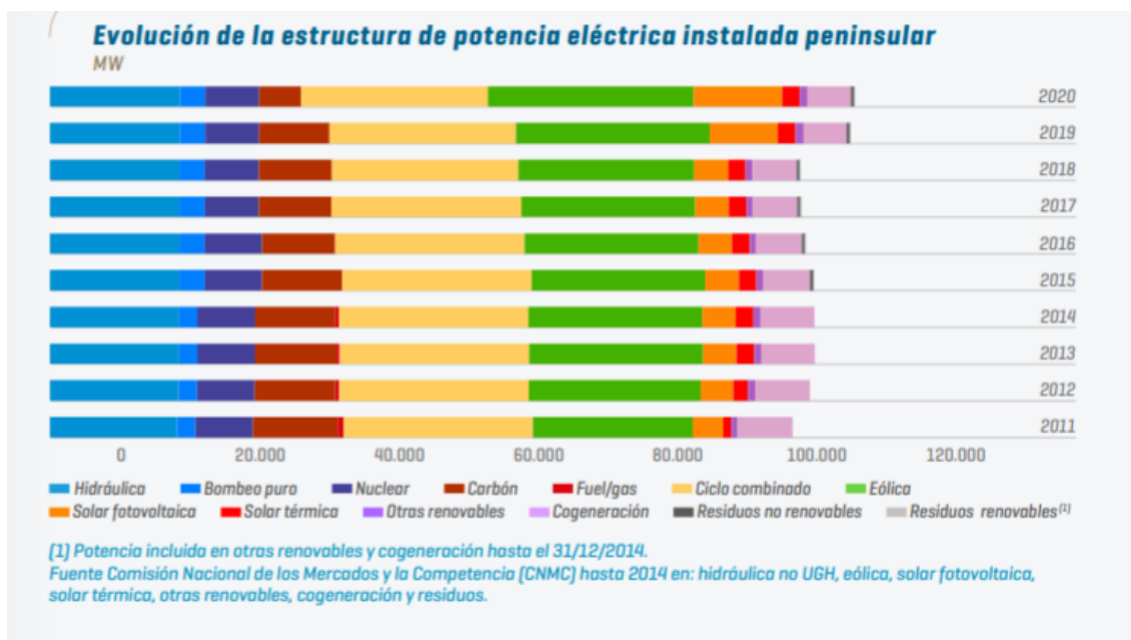


Ilustración 12: Evolución de la Estructura de Potencia Eléctrica Instalada Peninsular [2011-2020]<sup>29</sup>

Según datos de REE, en el año 2020 se produjo un aumento considerable de la estructura de potencia eléctrica renovable, aumentando un 7,1% la eólica y un llamativo 34,1% en la solar fotovoltaica; así como un 4,7% del resto de renovables, respecto del año anterior (2019).

Además, grandes empresas del sector eléctrico, como Iberdrola, siguen apostando fuerte por la energía hidráulica<sup>30</sup>, centrales las cuales requieren de una mayor cantidad de inversión para su puesta en uso, tanto en inversiones monetarias como en tiempos de ejecución.

Analizando el crecimiento de las inversiones en este sector renovable por parte de las grandes empresas, puede preverse fácilmente cómo la representación de estos parques sostenibles seguirá aumentando descabelladamente en los próximos años. Así, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico presentó en el 2019 unas estimaciones relativas a la evolución de la potencia instalada en el *mix* energético nacional:

<sup>29</sup> <https://bit.ly/3mdDMME> (Página 27)

<sup>30</sup> <https://bit.ly/2W82V08>

Parque de generación del Escenario Objetivo (MW)				
Años	2015	2020	2025	2030
<b>Eólica (terrestre y marina)</b>	22.925	28.033	40.633	50.333
<b>Solar fotovoltaica</b>	4.854	9.071	21.713	39.181
<b>Solar termoeléctrica</b>	2.300	2.303	4.803	7.303
<b>Hidráulica</b>	14.104	14.109	14.359	14.609
<b>Bombeo Mixto</b>	2.687	2.687	2.687	2.687
<b>Bombeo Puro</b>	3.337	3.337	4.212	6.837
<b>Biogás</b>	223	211	241	241
<b>Otras renovables</b>	0	0	40	80
<b>Biomasa</b>	677	613	815	1.408
<b>Carbón</b>	11.311	7.897	2.165	0
<b>Ciclo combinado</b>	26.612	26.612	26.612	26.612
<b>Cogeneración</b>	6.143	5.239	4.373	3.670
<b>Fuel y Fuel/Gas (Territorios No Peninsulares)</b>	3.708	3.708	2.781	1.854
<b>Residuos y otros</b>	893	610	470	341
<b>Nuclear</b>	7.399	7.399	7.399	3.181
<b>Almacenamiento</b>	0	0	500	2.500
<b>Total</b>	<b>107.173</b>	<b>111.829</b>	<b>133.802</b>	<b>160.837</b>

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019

Ilustración 13: Parque de Generación Eléctrica del Escenario Objetivo (MW)

Sin embargo, la aparición de la pandemia, con sus consecuentes destructivas repercusiones económicas en todos los países, ha hecho que el panorama nacional se vea afectado también en el ámbito energético; pero, contra todo pronóstico, de manera positiva.

Esto ha provocado que se haya retirado esta primera previsión del organismo respecto al parque de generación, pues las cifras esperadas para la instalación de potencia renovable serán mucho mayores que las observadas en el escenario objetivo de la Ilustración 13.

Uno puede preguntarse cómo es posible que la economía sostenible vaya a despegar en el peor momento económico de los últimos años. He aquí la clave la cuestión:

## NEXT GENERATION EU

El Parlamento Europeo aprobó el pasado 11 de febrero el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, que representa el grueso de los fondos europeos para afrontar los golpes económicos de la pandemia a nivel europeo. Este fondo representa el 90% de las ayudas

conformadas en el Fondo de Recuperación de la Unión Europea, también conocido como *Next Generation EU*<sup>31</sup>.

Aprovechando la incertidumbre generada por el colapso económico, se pretende que los nuevos puestos de trabajo proliferantes en las décadas venideras estén enfocados a evolucionar como sistema económico, centrándose básicamente en unos objetivos de transición ecológica<sup>32</sup>, además de la esperada transformación digital.

Este fondo europeo destinará al menos el 37% de los 750 000 millones de euros a la transición ecológica, de manera que se apoyen todas aquellas actividades que contribuyan a la acción climática y a la sostenibilidad medioambiental. Así, Europa pretende encabezarse a nivel mundial convirtiéndose en un referente en el ámbito de la sostenibilidad, siendo necesario para ello alcanzar la neutralidad de emisiones.

En lo que a este proyecto respecta, queda garantizada la meta a alcanzar por España en cuanto a movilidad terrestre se refiere: la movilidad será eléctrica, y la energía eléctrica empleada ha de ser renovable.

Aunque esto pueda parecer un doble reto para la industria, realmente puede significar el comienzo de un proceso dual de colaboración y entendimiento, en el que el sector transportes y el sector energético puedan diseñar una hoja de ruta conjunta que cree las sinergias necesarias para hacer de este nuevo mercado un ejemplo de sostenibilidad, innovación digital y rentabilidad económica.

Esta gran cantidad de energía que previamente se ha generado y parte de la cual deberá ser inevitablemente almacenada mediante los sistemas existentes, será empleada para dar abasto al total de las baterías eléctricas empleadas para la movilidad nacional terrestre. Es entonces cuando surge una nueva duda:

## ¿CÓMO SE CONSUMIRÁ ESA ENERGÍA ELÉCTRICA?

Para poder preparar el sistema eléctrico nacional ante el reto de proveer al sector de transporte terrestre, se hace fundamental desglosar los elementos a los que va a tener que abastecerse de energía.

La respuesta más básica antes quiénes son los clientes, es que son todos aquellos conductores que, con motivo de desplazarse ellos mismos (particulares) o bien transportar mercancías, necesitarán energía eléctrica para poder llevar a cabo dichas tareas.

Actualmente existen diversos sistemas de almacenamiento de energía eléctrica aplicados a la movilidad, entre los que destacan principalmente la batería de ion-litio y

---

<sup>31</sup> <https://bit.ly/3CXtXbL>

<sup>32</sup> <https://bit.ly/3gdhs1P>



la pila de hidrógeno (aparte obviamente de los carburantes, pero es hora de dejar de contar con ellos).

Por lo que parece, la sociedad todavía se encuentra en cierto estado de incertidumbre frente a volver a comprar un VCI; o si, por otra parte, ya es hora de pasarse a los VE.

Este estado de incertidumbre lleva años presenta en la economía automovilística española, tanto por una parte de la industria, cuyas empresas aún no se han decidido a permutar hacia lo eléctrico; como por los usuarios, que tampoco se atreven a dar el salto.

Ambos colectivos a sabiendas de que el futuro de la movilidad será eléctrico. Este fenómeno, por suerte, no es algo que pille de sorpresa al mercado, pues es un fenómeno que aparece muy a menudo, a pesar de que el usuario medio no le ponga nombre:

## EL EFECTO OSBORNE EN LA INDUSTRIA AUTOMOVILÍSTICA

En este apartado del proyecto, uno de los más importantes desde el punto de vista del autor, se explicará qué es el efecto Osborne en economía de consumo, en qué fase se encuentra la industria automovilística y por qué estamos a tiempo de rediseñar la movilidad eléctrica.

El efecto Osborne es el fenómeno económico vinculado con las áreas del *marketing* y el desarrollo de la tecnología ocurrente en un mercado en cuestión. Esta teoría explica por qué ocurre una disminución en el número de las ventas de un determinado producto tecnológico cuando se anuncia una mejora disruptiva del producto o una bajada relevante en el precio de adquisición.

Esto se debe a que, en el momento en el que un potencial consumidor conoce que en un futuro próximo van a aparecer versiones mejoradas del producto de interés y/o a un precio menor, el consumidor decide esperar a que estas mejoras salgan al mercado, posponiendo su decisión de compra.

En cuanto al mercado automovilístico concierne, el total del conglomerado encargado de la producción y venta de vehículos eléctricos ha anunciado que en un futuro próximo el precio de estos se verá mermado. Además, están apareciendo nuevas versiones en el mercado por parte de las diferentes compañías solventando uno de los principales inconvenientes a la hora de pensar en el pragmatismo de los coches eléctricos, la autonomía de la batería.

La creencia de las bajadas de precios y estas pequeñas mejoras progresivas en la autonomía de las baterías, así como el acortamiento de los tiempos de recarga, están provocando en el consumidor un estado de incertidumbre en el que, a pesar de haber

asumido que el VE será el protagonista en la movilidad terrestre, todavía no estén convencidos de que sea el momento de adquirirlos.

Así, se está produciendo un vacío en el mercado en el que, a pesar de que el consumidor prefiera adquirir un VE, no está dispuesto a pagar el elevado sobrecoste existente con su contrapuesto FFV. Por estas razones, y hasta que esa brecha económica se cierre, podremos apreciar cómo el mercado se sigue abasteciendo con FFV, o bien sigue posponiendo la compra de un nuevo vehículo, a expensas de cómo evoluciones el mercado.

A continuación, en la Ilustración 14, se muestra una estimación de cómo el efecto Osborne puede influir en la industria automovilística. Dicho gráfico fue compartido por Carlos Bergera<sup>33</sup> (Relaciones Externas en Smart Mobility, Iberdrola) en uno de los talleres del Instituto de Ingeniería de España, relacionado con la movilidad que viene:

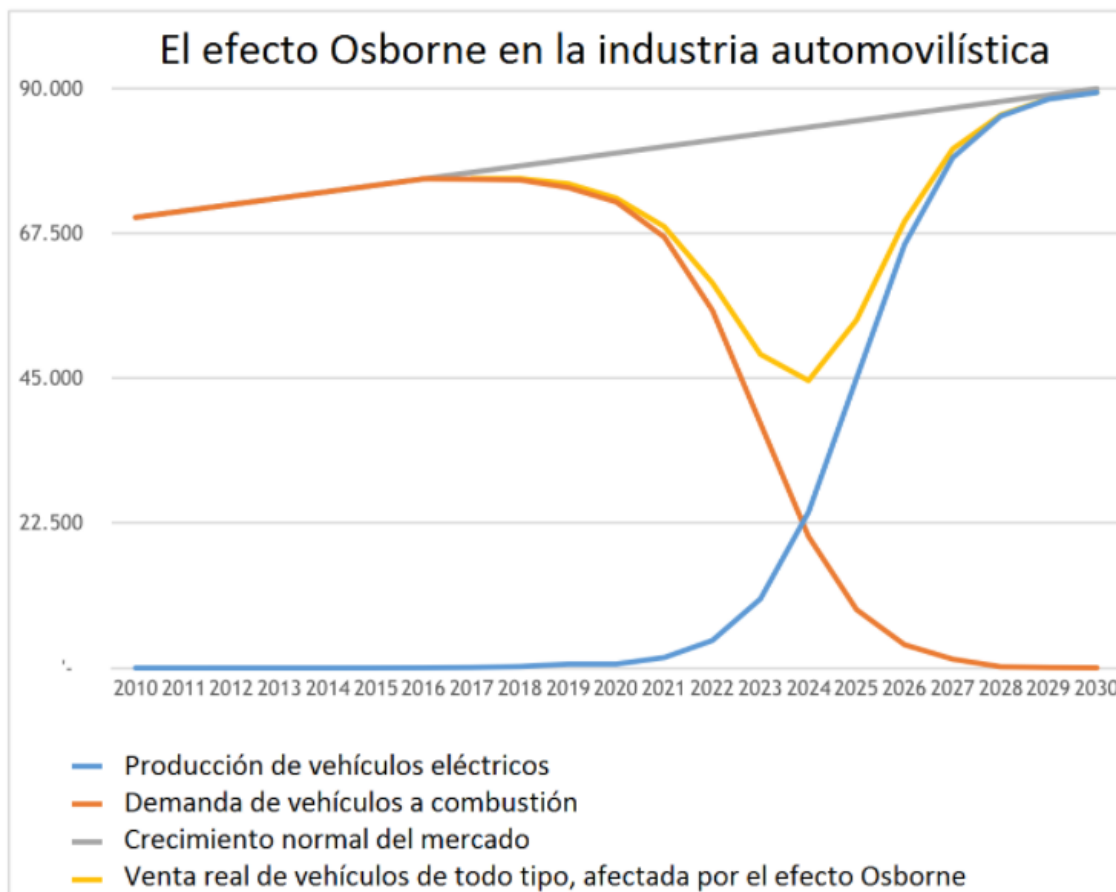


Ilustración 14: Predicción del Efecto Osborne en la Industria Automovilística<sup>34</sup>

<sup>33</sup> <https://bit.ly/3klzCQz>

<sup>34</sup> <https://bit.ly/2XDTd6l>

En esta gráfica puede verse cómo aumentará el consumo de VE (curva de color azul), a expensas de conocer la realidad venidera. Según el juicio del autor de este proyecto, en la previsión se han cometido una serie de simplificaciones notables que se explicarán en los siguientes párrafos. No obstante, es un gráfico ideal que puede servir como punto de partida para la siguiente explicación:

- La recta gris representa la demanda estimada del mercado automovilístico. Aquí puede apreciarse cómo la tendencia de consumo actual tiene a una mayor demanda por parte de la sociedad. Más adelante se hablará de nuevos factores clave en la movilidad, como el *CarSharing*, que mermarán la tenencia de vehículos por parte de los usuarios.  
No obstante, despreciando este último factor, se supone que, en ausencia de la introducción de nuevas mejoras en el sector y de bajadas notables en los precios, esta recta debería seguirse.
- La curva naranja representa la compra de FFV, la cual ya está empezando a desprenderse de la demanda total. Esta curva parece desaparecer en el año 2030. El pasado 14 de julio<sup>35</sup>, Ursula von der Leyen, presidenta de la Comisión Europea, anunció la prohibición de la venta de coches de combustión interna a partir del 2035; por lo que, hasta entonces, se espera una venta, aunque mínima de los mismos. Puesto que para entonces la adquisición de un VE ya estará a la orden del día, las compañías tendrán que desprenderse de este stock paulatinamente. Además, también anunció otras medidas, todavía por elaborar, que introduzcan nuevas tasas ante los agentes contaminantes y sus usuarios.
- La curva amarilla representa esa brecha provocada por el efecto Osborne, es decir, todas aquellas intenciones de compra que no llegaron a hacerse efectivas debidas a la incertidumbre del mercado. El área delimitada entre la curva amarilla y la recta gris representará el total de los vehículos deseados, pero no adquiridos.  
Es importante anotar que durante esos años en los que el efecto Osborne continúe diezmando el mercado, se producirán intercambios de vehículos, pero no de primera adquisición. Es decir, las compras vendrán dadas en forma de “parches”, en los que aquellos usuarios que *ipso facto* devengan un nuevo vehículo, quizás por la *inservibilidad* del propio, decidan comprar uno de segunda mano (probablemente de alguien que se haya pasado al VE) hasta que estimen oportuno el momento de pasarse al VE.

En definitiva, el mercado será el que dirija a la industria, y será decisión de los compradores cuándo dar el pistoletazo de salida que arrancará por fin la carrera por alcanzar la cima de este elevado mercado. Pero para ello, serán previamente las

---

<sup>35</sup> <https://bit.ly/3xSkPRW>

empresas las encargadas de allanar el camino y preparar no solo el circuito en el que correrán estos coches, sino también de establecer las reglas que definan la asiduidad de paradas durante el trayecto y la manera en la que estas se llevan a cabo.

## ECONOMÍA COLABORATIVA Y MOVILIDAD COMPARTIDA

Este nuevo método de movilidad, conceptualizado en 2010, basado en el intercambio y compartición de bienes entre consumidores, y motivado por cambios en la mentalidad del consumidor, impulsado principalmente por dos factores:

- Evolución tecnológica
- Crisis económica

La movilidad compartida ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años. A principios de 2020 se habían sextuplicado las licencias VTC (Vehículos de Turismo con Conductor) con respecto a 2013. Provincias como Madrid o Málaga han multiplicado por 14 el número de licencias que tenían en el 2013.



Ilustración 15: Gráfica sobre la Evolución del nº de Licencias VTCs (en rojo, resto de España)

Este mercado está caracterizado por una rápida entrada y salida de los operadores, pues el mercado no está todavía asentado a gran escala.

Son numerosos los conflictos ocurridos en las ciudades debido a la introducción de estos nuevos modelos de negocio, pues hasta el momento, el mercado estaba copado por los conocidos taxis, los cuales cuentan con costosas licencias públicas, que les permiten operar en el interior de dichos territorios.

Para estabilizar estas disputas y asentar un marco económico de convivencia entre los distintos modelos de negocio, los gobiernos locales han realizado planteamientos regulatorios muy diferentes.

Unos han optado por intentar poner unas normas de antemano y después dar acceso a esos agentes de movilidad. Otros ayuntamientos han decidido actuar diferente y optar por dejar operar a estos servicios, intentar entender cómo funcionan y, una vez conseguido este entendimiento, establecer una normativa.

Hay que anotar que este conocimiento va de la mano con la experiencia, lo que significa que seguirá mejorando con el paso de los años, permitiendo una mejora tanto para los ofertantes de trabajo como para los consumidores de dichos servicios.

Además, al ser un nuevo método disruptivo de hacer negocio, apenas se cuenta con datos que permitan prevenir cómo va a funcionar el mercado, lo que dificulta la antelación de los hechos.

Al haber escasez de datos abiertos para investigación y planificación por parte de los organismos públicos, el autor opina que se hace necesario pedir la recopilación y tratado de estos datos a las nuevas empresas que se introduzcan en el sector, siempre con fines organizativos y nunca con la intención de invadirles su nicho de mercado.

Esto es algo que no satisface a estas nuevas empresas innovadoras, pues realizan un gran desembolso inicial con la idea de obtener beneficios a partir del medio plazo. Si se sobrerregula su actividad, puede provocarse el efecto adverso al esperado, expulsando a estos agentes innovadores del mercado.

Una de las conclusiones más importantes que extraer de este apartado, es el hecho de que este aumento en la demanda ha sido impulsado por la satisfacción del usuario. Es importante entender este concepto, pues la tendencia del mercado es orientarse hacia aquellos productos demandados por los consumidores, pues son ellos los que aportan el capital, fruto del ingreso económico que se produce derivado del intercambio de bienes o servicios. Si hay tirón, aumenta la demanda.

## TENDENCIAS PRINCIPALES EN LA MOVILIDAD URBANA

A pesar de las numerosas tecnologías que están apareciendo en el ámbito de la modalidad urbana de las grandes ciudades: bicicletas eléctricas públicas, empresas privadas de vehículos compartidos (coches, motos, patinetes, bicicletas), VTCs, etc., el grueso de la movilidad urbana sigue llevándose a cabo por los sistemas tradicionales de movilidad; por ejemplo, movilidad a pie, transporte público y vehículo privado.

Para poder visualizar esto, se adjunta a continuación una gráfica extraída del Taller “La Movilidad que Viene”, del Instituto de la Ingeniería de España:

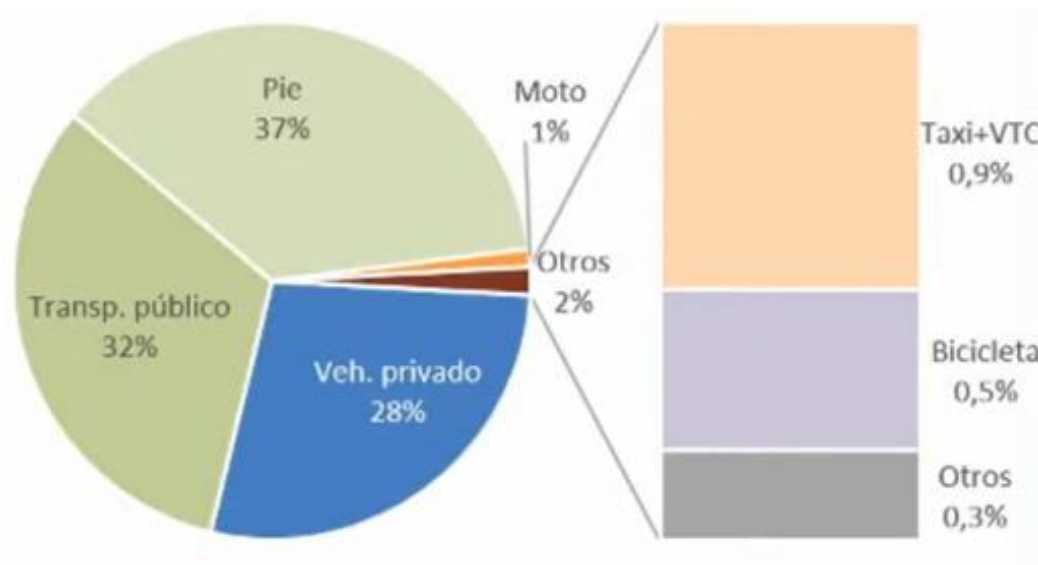


Ilustración 16: Reparto Modal de la Almendra Central de Madrid (2018)

Como puede verse en la Ilustración 16, en el 2018, más del 97% de la movilidad era la conocida hasta la década pasada. Sin embargo, en estos tres últimos años se ha producido un crecimiento desmesurado sin antecedentes que ha continuado revolucionando este sector, lo que habrá hecho aumentar notablemente estos porcentajes.

Desgraciadamente para este estudio, y como se ha dicho con antelación, estas empresas privadas no comparten sus resultados. Comportamiento el cual es más que entendible, pues si retirasen el velo y descubriesen la posibilidad de hacer negocio que hay en estas áreas, tendrían que repartir el pastel entre más empresas, repercutiendo en ellos la pérdida de oportunidad.

Esta movilidad compartida, independientemente de las repercusiones que está provocando en la economía empresarial o en la organización pública, está trayendo una serie de cambios alborotadores en la parte de la sociedad que emplea este tipo de servicios, encontrándose entre ellos los siguientes efectos:

#### EFFECTOS DE LA MOVILIDAD COMPARTIDA

##### **POSITIVOS**

- Mayor oferta y accesibilidad de transporte, por ejemplo, en aquellas zonas geográficas a las que no llega el transporte público.

- Uso más eficiente de los vehículos, una vez que un usuario lo deja de usar, podrá cedérselo al siguiente. Tienes más retornos económicos.
- Ahorro, pues el ciudadano no necesita gastar una cantidad fija de dinero en la adquisición del vehículo. Ese desembolso inicial es uno de los factores más influyentes por los usuarios de este servicio. Únicamente gastas por lo que usas, de manera menor a la lineal, debido a tarifas de escala (menor).  
Esto es, aquellos que usan poco sus vehículos consiguen unos enormes beneficios usando este tipo de tecnologías; además, cuanto más uses una misma aplicación, más descuentos se te aplican.
- Reducción de posesión y uso del vehículo privado, repercutiendo en mayor número de plazas de aparcamiento, ahorros energéticos, materiales, agentes contaminantes.  
Esto desemboca en una supuesta descongestión del tráfico, para lo cual el autor de este estudio no está completamente de acuerdo, pues hay que analizar de dónde vienen aquellos usuarios de estas tecnologías de movilidad compartida: si vienen del vehículo privado, sí que se fomentará la descongestión; si vienen del transporte público, se está fomentando este aumento de tráfico.
- Prácticamente todos estos vehículos empleados para la movilidad compartida son eléctricos, por lo que fomentan la descarbonización. Además, pueden servir como publicidad de los vehículos eléctricos, anticipando esta transición ecológica hacia lo sostenible.

## **NEGATIVOS**

- Reducción del uso del transporte público y movilidad activa (pie, bicicleta privada sin motor). Se están poniendo más vehículos en la vía pública. En el corto plazo provocará mayores atascos.

## **EFFECTOS CONTRAPUESTOS SOBRE DISTINTOS ASPECTOS**

- Congestión, por una parte, se reducirá la ocupación de plazas de aparcamiento, lo que repercute drásticamente en la aparición de atascos provocados por la falta de ellos y, en el caso de los VTCs, elimina el tiempo y la congestión provocada por el tiempo de aparcamiento. Por otra parte, las empresas encargadas de operar en el mercado de los VTCs van teniendo cada vez mejores algoritmos que les permiten reducir la distancia y el tiempo de espera del conductor entre el final de un viaje con un cliente y el comienzo del siguiente.

- Calidad del aire, aunque bien podría pensarse a priori que un aumento del número de vehículos en los centros urbanos, provocados por la introducción del *Sharing* y de los VTCs podría provocar una mayor contaminación de dicho aire, ha quedado demostrado en Madrid, ciudad referente a nivel mundial del *CarSharing* y del *MotoSharing*, que la realidad es otra muy distinta. Debido a la reciente producción de los vehículos empleados para estos fines, han podido ser escogidos vehículos eléctricos de antemano, reduciendo drásticamente las emisiones en dicho núcleo urbano.
- Seguridad vial, mientras que los VTCs están pilotados por conductores con comportamientos viales más desarrollados y menos accidentados que la media, el Car-Sharing facilita el acceso a aquellos que tienen menos práctica al volante, cogiéndolo de manera más inusual que un conductor con su propio medio de transporte. Sin embargo, la unión de ambas crea una sinergia idónea para aquellos que no les importa conducir un vehículo en uno de los trayectos (ida), debido a las prisas, principalmente; pero que prefiere ser transportado en el otro trayecto (vuelta), o coger el transporte público si ya no tiene prisa.

## LA MOVILIDAD COMPARTIDA EN ESPAÑA

### MADRID, UN EJEMPLO DE MOVILIDAD COMPARTIDA

Durante los últimos años, Madrid ha vivido una serie de cambios en la accesibilidad a su centro neurálgico. Se han tomado numerosas medidas en aras de disminuir las emisiones de los gases perjudiciales liberados por los motores de combustión.

Así, se elaboraron medidas políticas mediante las cuales se permite acceder en cualquier caso a aquellos coches con bajas emisiones, pero tan solo en ciertos casos a aquellos otros que emitan más de un nivel de contaminación previamente establecido.

Las indicaciones impuestas por Europa para los próximos años (más adelante se hablará de ello), anuncian que esta serie de medidas van a seguirse llevando a cabo en diferentes núcleos poblacionales de menor tamaño a lo largo de los años. Concretamente, en aquellas de más de 50 000 habitantes.

Aquellas personas que frecuenten el centro de la capital española podrán comprobar de primera mano cómo la ciudad está repleta de todo tipo de vehículos compartidos (prácticamente todos eléctricos), actuando como un verdadero laboratorio en movimiento hasta el punto de convertirse de interés internacional.



Hasta el comienzo de la pandemia, los datos de la capital eran los siguientes:

- 8 200 vehículos VTC (Uber, Cabify...)
- 2 300 vehículos de *CarSharing* (*ShareNow*, *Zity*, etc)
- 3 800 motos compartidas (eCooltra, Acciona, Movo, y un largo etcétera)
- 4 800 patinetes compartidos<sup>36</sup> (Bird, Lime...)
- 2 000 bicicletas compartidas (BiciMad)

Estos datos han sido de nuevo facilitados por las empresas privadas y unidades de investigación universitaria que colaboran con el Instituto de la Ingeniería de España.

#### LA NORMALIZACIÓN DEL *CARPOOLING*

El *CarPooling* es un método de movilidad interurbana compartida basado en un sistema en el que el propietario del vehículo anuncia los detalles de su próximo viaje, compartiendo la fecha, hora, origen, trayecto, destino, características del vehículo y una serie de condiciones personales en cuanto a gustos y preferencias. El usuario, por su parte, podrá buscar aquellos viajes de interés que se ajusten a su búsqueda, pudiendo elegir aquel que vea más oportuno. Lo que se conoce como compartir coche.

El propietario del vehículo tasará el viaje según una serie de recomendaciones que le aportará la aplicación, para hacer frente a sus gastos de combustible/electricidad y a otros asociados al uso del vehículo. La aplicación recibe una tasa por parte de los usuarios que soliciten unirse a dicho trayecto.

Durante la última década, este nuevo método de movilidad compartida se ha introducido en nuestro país, creciendo año a año a pesar de fuertes inconvenientes como la pandemia<sup>37</sup>.

Entre las empresas que operan en este sistema destaca principalmente *Blablacar*, seguida de *Amovens*.

---

<sup>36</sup> En dicha fecha estaban concedidas las licencias; actualmente, ya pueden verse por las carreteras

<sup>37</sup> <https://bit.ly/3ja3iQW>

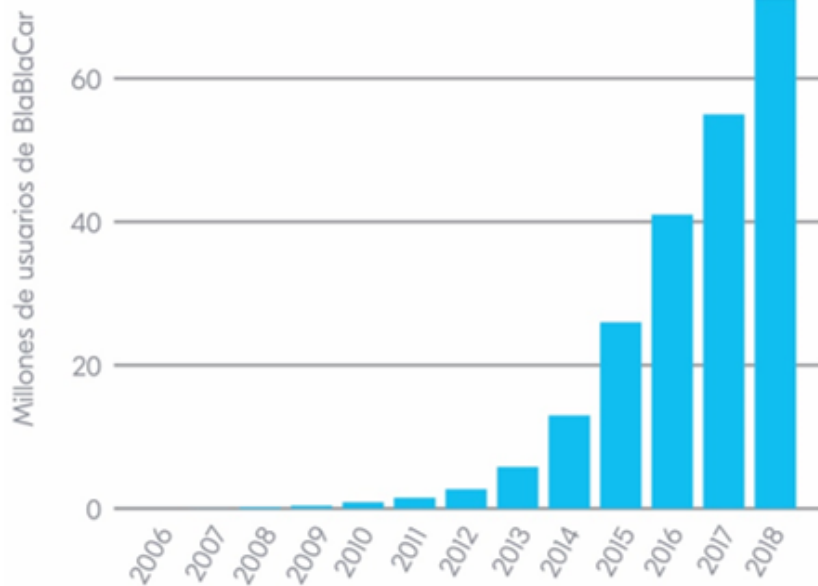


Ilustración 17: Crecimiento del CarPooling (BlaBlaCar)

El fin de compartir estos viajes interurbanos es el de evitar el uso de varios vehículos para un mismo fin, o bien mejorar las condiciones del viaje frente a otros métodos como el uso del autobús o el tren. Además, es más barato para los pasajeros y para el conductor.

Entre las posibilidades de futuro que se prevén de este tipo de aplicaciones, se encuentran aquellos desplazamientos urbanos desde las periferias de las grandes ciudades, especialmente aquellos que se repitan de manera asidua (los días de diario).

En consonancia con esto último, algunas grandes empresas con más de 200 trabajadores están desarrollando Planes de Transporte al Trabajo (PTT), cuya elaboración les permite obtener una serie de subvenciones por parte del IDAE<sup>38</sup>.

Numerosas ideas para estos PTT para las empresas fueron propuestas en el *Future Urban Mobility*, entre las que destacaban los siguientes sistemas de optimización:

- Recogida de otros trabajadores de la misma empresa (o de empresas vecinas) por parte de aquellos propietarios de vehículos cuyo trayecto hacia el punto de trabajo pase cerca de los distintos posibles puntos de recogida
- Compartir entre varios trabajadores un vehículo de *Sharing*
- Recompensar a aquellos trabajadores que se muevan de manera sostenible (transporte público, a pie, bicicleta, etc.)

<sup>38</sup> <https://bit.ly/3gocq2G>

- Lanzaderas que tengan en cuenta las solicitudes de los trabajadores

Se espera que, en los próximos años, con la proliferación de aplicaciones móviles basadas en *Big Data*, se optimicen estos trayectos recurrentes al punto de trabajo, los cuales, además de reducir la huella de carbono asociada y reducir los costes asociados a la movilidad (especialmente la de aquellos trabajadores que tengan que desplazarse hasta las afueras de la ciudad), puedan satisfacer a los trabajadores y crear un sentimiento de unión con la empresa y sus trabajadores.

## LA DESCARBONIZACIÓN DE LA MOVILIDAD

Debido a que las emisiones ligadas con el transporte representan un alto porcentaje (30,5% en Europa), se está priorizando el proceso de descarbonización en este sector. Así, se muestra en la Ilustración 18<sup>39</sup>, un gráfico que representa los porcentajes de energía que va destinada a abastecer cada sector, basándonos en la tonelada equivalente de petróleo como magnitud de comparación:

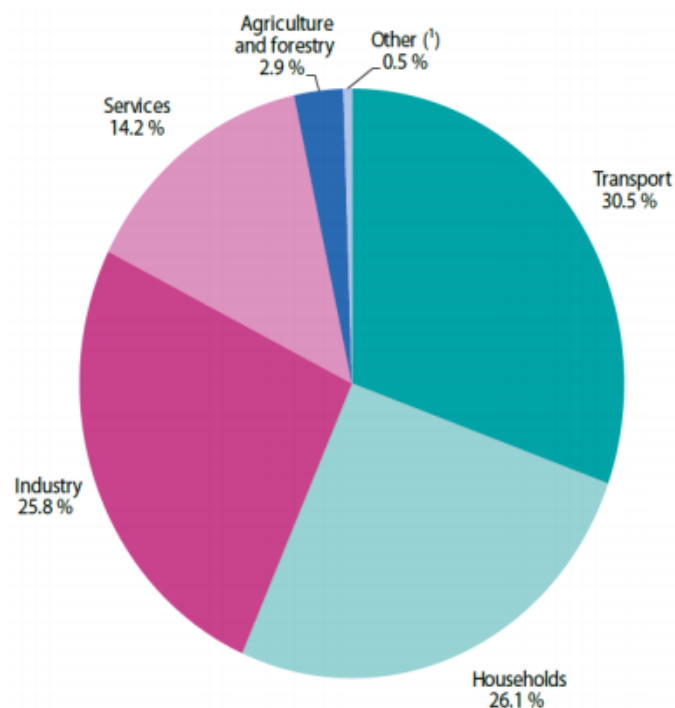


Ilustración 18: Energía final consumida por sector en Europa, 2018 (%)

---

<sup>39</sup> Eurostat nrg\_ind\_ren

A pesar del reto propuesto por Europa por disminuir la emisión de GEI, y su logro en un gran número de sectores energéticos, esto no ha sido posible en el sector del transporte, del cual puede verse su evolución creciente en la Ilustración 20:

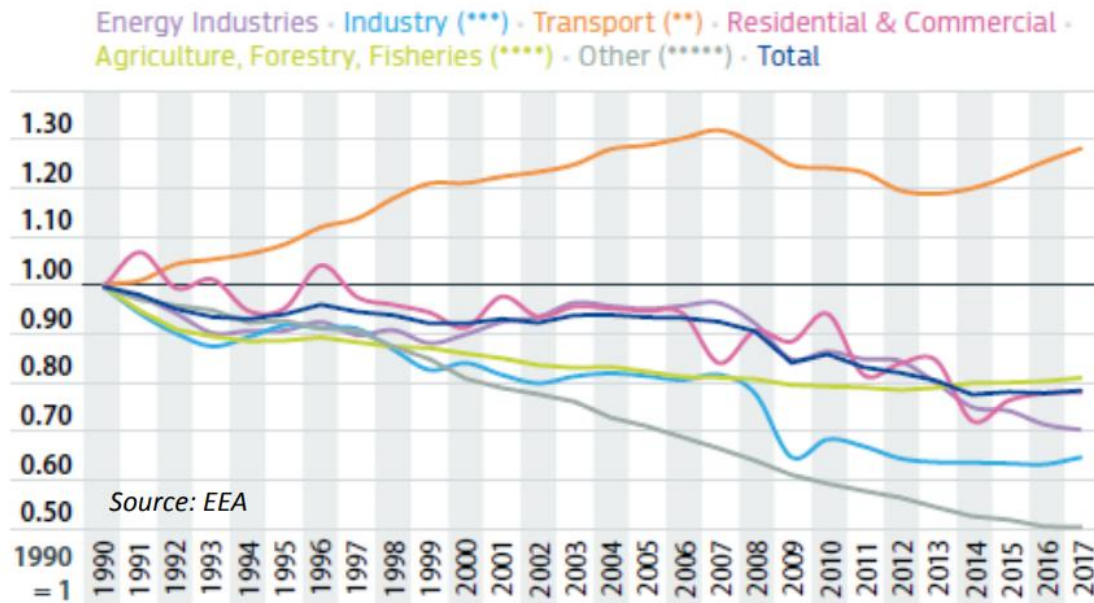


Ilustración 19: Emisiones GEI en UE 28, según el sector

Desglosando la evolución de la gráfica anterior de las emisiones del sector transporte, se obtiene la siguiente Ilustración 20. A pesar de que el sector que más haya aumentado sus emisiones GEI sea el aéreo, debido a la reducción de precios sin precedentes, le sigue la movilidad terrestre.

Este aumento en el consumo de viajes aéreos, unido a la dificultad de implantar energías renovables en el sector, lo hacen también el próximo reto a tratar en la movilidad.

A pesar de las negativas actuales sobre la implementación de la energía eléctrica en el sector, el autor de este estudio confía en que sea solo una cuestión de varias décadas el hecho de que se diseñen nuevos sistemas eléctricos más potentes que permitan alcanzar esas enormes necesidades energéticas; o bien, rediseñar el tamaño de estas estructuras de manera que se consiga encontrar la rentabilidad económica y energética en aviones más pequeños.

No obstante, la aparición de biocombustibles en la movilidad aérea ya está a la orden del día. Lamentablemente, todavía existen unos sobrecostos que duplican el gasto en combustible respecto de aquellos menos respetables con el medio ambiente.

Por otra parte, habrá que esperar a la obtención de resultados más actuales (después del COVID-19) para analizar la reducción de los vuelos y las consecuencias que ello conlleva si se mantienen a largo plazo (así como del resto de la movilidad).

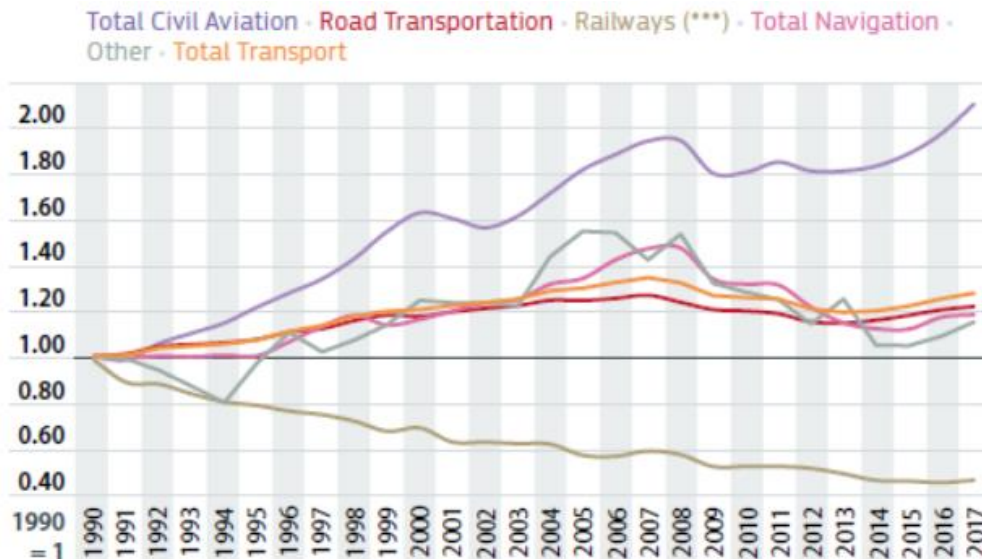


Ilustración 20: Evolución de las emisiones GEI en UE 28 (en tanto por uno)

Así, tomando la gráfica anterior y calculando los porcentajes de emisiones GEI totales que representa cada método de movilidad dentro del sector transporte, se obtiene la siguiente Ilustración 21:

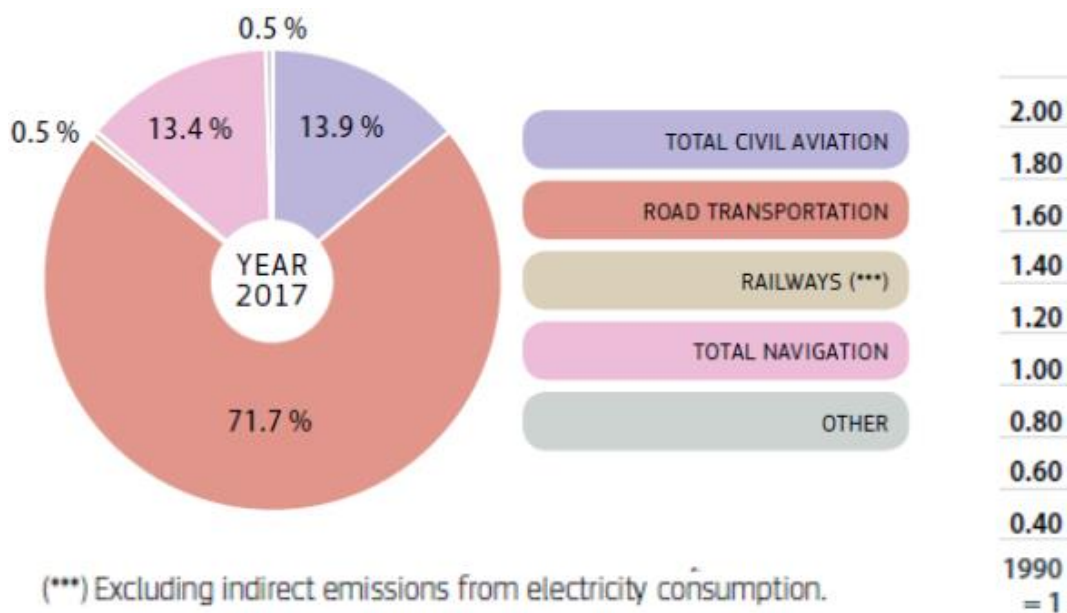


Ilustración 21: Emisiones GEI (% dentro del sector transporte) de cada método de movilidad

Este gráfico demuestra que sigue siendo la movilidad terrestre el sector más contaminante dentro del transporte, con más del 70%. Por ende, debe priorizarse aquí la transición energética hacia lo sostenible, cuyo campo de estudio está siendo este proyecto.

Como dato extra, procedente de la misma fuente, la emisión de GEI que más ha aumentado en las últimas décadas es la procedente de los camiones ligeros de transporte, con un 60% respecto de 1990. El resto de modos de transporte rodado por carretera oscila un aumento del 20%.

Se espera que la fuerte inversión por parte de la industria para eliminar los combustibles fósiles (especialmente el gas natural) en las próximas décadas permitan descubrir serendipias aplicables a otros sectores, como es este del transporte.

Según la opinión del autor, y en consonancia con la perspectiva de Europa, el papel del hidrógeno como vector energético y su desarrollo será clave para alcanzar la neutralidad climática.

En este informe, se intenta dar solución al conjunto total de la movilidad terrestre, pues dicha electrificación debe llevarse a cabo para cualquier tipo de vehículo terrestre. Sin embargo, se hace interesante ampliar más este desglose y conocer de qué manera se reparten estas emisiones dentro de este campo de estudio, para saber así la importancia que tiene el aportar una solución que englobe al total de los factores. Para ello, se adjunta a continuación la Ilustración 22, facilitada por el Centro de Investigación del Transporte de la Universidad Politécnica de Madrid (TRANSyT)<sup>40</sup>.

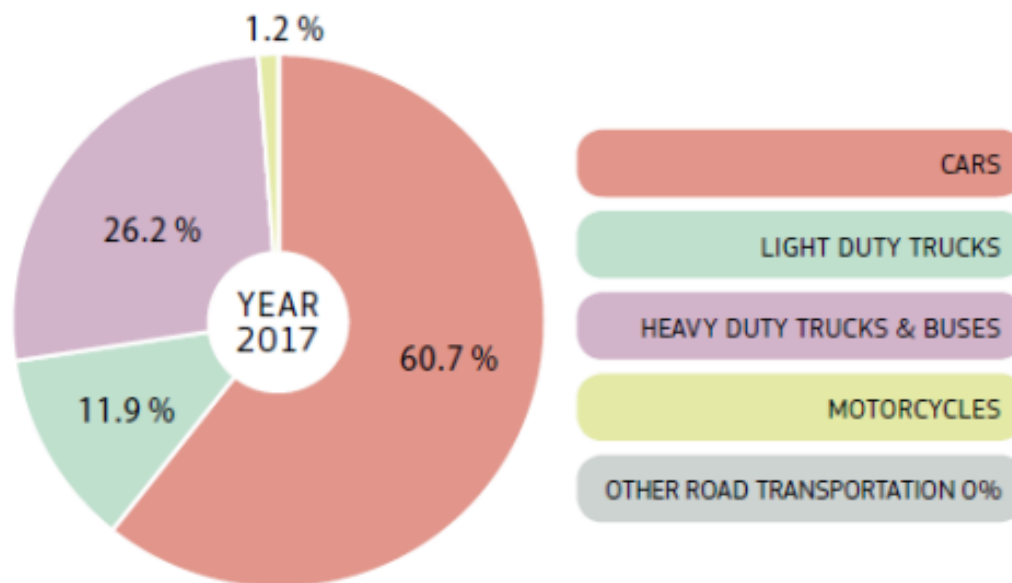


Ilustración 22: Emisiones GEI en EU 28 de cada tipo de vehículo

Como era de esperar, los coches representan una mayoría de las emisiones. Sin embargo, apenas son dos terceras partes del total, por lo que se hace necesario también estudiar diferentes métodos universalizables para todas las modalidades de movilidad, especialmente para los camiones de transporte de mercancías.

<sup>40</sup> <https://bit.ly/2WgYnVS>

## EUROPA Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Europa es la principal precursora de la transición energética a nivel mundial, impulsada principalmente por la necesidad que sufre el planeta de reducir la emisión de GEI, fundamental para conseguir evitar que siga subiendo la temperatura en las próximas décadas. Así, se han elaborado acuerdos que orientarán a los Veintisiete en esta línea, de la misma manera que a nivel mundial se han firmado pactos que dirigen al conjunto mundial hacia la sostenibilidad medioambiental.

Además, existe otro motivo relevante que impulsa a estas grandes potencias a conseguir la sostenibilidad energética, sustituyendo la quema de combustibles fósiles por otros métodos de producción energética menor contaminantes, como son las energías renovables, capaces de generar energía eléctrica libre de carbono.

En Europa, este motivo es el logro de la independencia energética frente a los países poseedores de la inmensa mayoría del petróleo mundial, especialmente aquellos pertenecientes a la OPEC (Organización de Países Exportadores de Petróleo). Según el último informe de BP<sup>41</sup>, 14 países tienen el 93,5% de las reservas mundiales de petróleo. Un monopolio que deja con las manos atadas a la independencia energética y económica del resto de países.

Como consecuencia de la transición energética que se está llevando a cabo a escala global, *BloombergNEF* ha estimado que actualmente se están eliminando más de un millón de barriles (un barril equivale a casi 159 litros) de petróleo al día debido a la aparición de los VE.

Así mismo, este estudio supone que el precio de la gasolina y el gasoil (derivados del petróleo) siga subiendo notablemente hasta al menos el 2027, fecha en la que se mantendrá para luego ir reduciéndose paulatinamente<sup>42</sup>.

---

<sup>41</sup> <https://on.bp.com/3j5qwYx>

<sup>42</sup> <https://bit.ly/3gpg2Si>

## PACTO VERDE EUROPEO

El 11 de diciembre de 2019 fue aprobado por la Comisión Europea (CE) el Pacto Verde Europeo<sup>43</sup> con la intención de guiar al continente hacia la neutralidad de emisiones en CO<sub>2</sub>, cumpliendo así con las premisas expuestas en el Acuerdo de París.

Entre los objetivos que persiguen alcanzar las medidas tomadas y que están vinculadas con la movilidad terrestre se encuentran los siguientes<sup>44</sup>:

- Aire de calidad, libre de agentes contaminantes, especialmente en las ciudades.
- Movilidad sostenible, incluyendo más transporte público.
- Energía más limpia, persiguiendo la renovabilidad total.
- Tecnología ecológica y vanguardista.
- Industria resiliente y competitiva a escala mundial.



Ilustración 23: Hoja de Ruta del Pacto Verde Europeo<sup>45</sup>

<sup>43</sup> <https://bit.ly/3k4hXwx>

<sup>44</sup> <https://bit.ly/3yWx94W>

<sup>45</sup> <https://bit.ly/3AWcfDK>



Para perseguir estas metas, el Pacto Verde Europeo ha puesto el punto de mira en alcanzar una transición hacia una energía más limpia. Según la Comisión Europea<sup>46</sup>, la producción y el uso de la energía representa más del 75% de las emisiones de GEI de la UE. Por tanto, la descarbonización del sistema energético es fundamental.

Este proceso de descarbonizar nuestra energía, a pesar de que la meta final diste a casi 30 años de distancia, se hace necesario ir cumpliendo una serie de objetivos a corto plazo. Así, en el primer tramo de la carrera, hasta 2030, los países deberán centrarse en tres principios clave que encaminen los resultados hacia los previstos:

- 1- Garantizar un suministro energético seguro y asequible para la UE*
- 2- Desarrollar un mercado de la energía de la UE plenamente integrado, interconectado y digitalizado*
- 3- Priorizar la eficiencia energética, mejorar el rendimiento energético de nuestros edificios y desarrollar un sector energético basado en gran medida en fuentes renovables*

Atendiendo a estos principios clave, citados literalmente por la CE, se pueden extraer una serie de conclusiones relacionadas con la movilidad eléctrica, especialmente en la fuerte irregularidad energética que marcará el futuro *pool*.

Bien es sabido que, si las energías renovables tienen algún inconveniente, es la irregularidad de su generación, especialmente la solar y la eólica, pues la hidroeléctrica nos permite un gran nivel de regulación, al decidirse cuándo y cuánta energía producir (siempre dentro de las reservas con las que se cuente).

Así, de acuerdo con el primer principio antes citado, se deberá contar con un gran sistema de almacenamiento al cual recurrir para abogar por la estabilidad de la red. Asimismo, de acuerdo con el segundo principio, deberán desarrollarse tecnologías que estén plenamente integradas en la red, lo que significa que el sistema energético con el que se abastezca la movilidad eléctrica (la cual conviene recordar que representará la mitad de la energía total consumida para el 2050 en Europa), debe no solo estar integrada en la red, sino crear unas sinergias propias de un sistema simbiótico de necesidad mutua.

Por último, de acuerdo con el tercer principio, se impulsarán medidas (de hecho, ya se están impulsando fuertemente) que luchen por el autoconsumo y la eficiencia energética de nuestras viviendas. Esto significa que será necesario no solo crear un sistema integrado a nivel europeo o estatal, sino también a nivel local.

---

<sup>46</sup> <https://bit.ly/37TE2Iz>

La carga y descarga de las baterías de los VE representarán un papel fundamental en la regulación de la energía consumida a nivel residencial, pues si bien el sistema eléctrico se encuentra actualmente marcado por la irregularidad de la demanda, esta es fácilmente paliada por la capacidad de adaptación que el sistema ofertante posee gracias a las centrales punta.

Sin embargo, Europa se está enfrentando a la prescindibilidad de estas centrales, lo que dificultará enormemente la adaptación si a nivel residencial no se es capaz de autorregularse con cierta soltura.

Así, puede verse cómo España, a través de las ayudas que el IDAE<sup>47</sup> (siendo las CC.AA. las que gestionan dichas subvenciones de manera directa) está dando a los consumidores para la implantación de placas fotovoltaicas y baterías de almacenamiento en sus propias viviendas, ya está preparándose para este reto.

Además, otros programas de ayudas económicas como el MOVES III<sup>48</sup> están impulsando la adquisición de vehículos eléctricos por parte de los ciudadanos. Estos ciudadanos necesitan todavía de un empujón que les haga saltar la brecha económica que marca la diferencia entre dichos VE y sus contrapuestos VCI.

Estos planes nacionales relacionados con la energía y el clima han sido impulsados por la UE, la cual ha dado serias directrices sobre la obligatoriedad de los Veintisiete por establecer un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNEC). Estos planes, enfocados en actuaciones durante el corto plazo (2021-2030), deben abordar cinco ámbitos principales<sup>49</sup>:

1. Eficiencia energética
2. Energías renovables
3. Reducción de las emisiones de GEI
4. Interconexiones eléctricas
5. Investigación e innovación

---

<sup>47</sup> <https://bit.ly/2W2wGzE>

<sup>48</sup> <https://bit.ly/3AR7JX5>

<sup>49</sup> <https://bit.ly/3AYV8kL>

## UN TRANSPORTE SOSTENIBLE PARA TODOS

Los Veintisiete Estados miembros de la UE se han comprometido en conseguir que la UE sea la primera región climáticamente neutral para 2050. Como ya se ha explicado previamente, esto requiere de unos compromisos a corto plazo, para el 2030, entre los que se encuentran los siguientes<sup>50</sup>:

- 55% menos de emisiones de turismos antes del 2030
- 50% menos de emisiones de furgonetas antes del 2030
- 0 emisiones en nuevos turismos antes del 2035

En su declaración, la CE se hace responsable de fomentar el crecimiento del mercado de VE (sin emisiones), así como de la optimización de aquellos con bajas emisiones. Para ello, se ha comprometido con garantizar que los usuarios de estos VE dispongan de la infraestructura necesaria para la recarga de estos VE, tanto para trayectos urbanos, de corta distancia, como para los interurbanos, sea cual fuere la longitud del trayecto.

Estas afirmaciones están consiguiendo que tanto el colectivo empresarial como el conjunto de los potenciales usuarios tengan la seguridad de que en el medio plazo se alcanzará el mantenimiento de las prestaciones previamente asentadas en los transportes particulares de los VCI.

Desafortunadamente, a fecha de 2021 estas prestaciones no son todavía una realidad, por lo que el grueso de los potenciales compradores de VE sigue optando por adquirir VCI, pues así estos conductores se aseguran mantener la comodidad a la que se han adaptado durante todas estas décadas.

Además de las incomodidades que puedan suponer los inconvenientes asociados a la autonomía de las baterías y la dificultad de su recarga, se le añade uno todavía mayor: el sobrecoste de adquisición del VE frente al VCI.

Para paliar esta diferencia y trabar el uso de los VCI, la CE ha declarado que en 2026 se impondrán unas tarifas vinculadas a la contaminación ambiental de estos vehículos. Esto significa que se creará un nuevo impuesto al transporte por carretera, sujeto a derechos de emisión de GEI.

Esta medida desincentivará que se prolonguen las compras de vehículos contaminantes, lo que indirectamente implica una incentivación extra para la transición hacia la movilidad eléctrica. Además, se pretende que el capital económico extraído de estos impuestos se destine íntegramente a reinvertirlos en tecnologías automovilísticas más sostenibles.

Asimismo, la CE ha recordado que esta transición ecológica en la movilidad no debe beneficiar solo a aquellos ciudadanos que habiten las urbes, sino que debe llegar a cualquier rincón de Europa. Esta paridad entre ciudadanos plantea un reto aún más

---

<sup>50</sup> <https://bit.ly/3iYh8WA>

ambicioso, pero justo, pues la movilidad eléctrica debe llegar a las zonas rurales, a pesar de las dificultades que esto pueda suponer.

En España, sin duda, la falta de una interconexión suficientemente capacitada en muchos pueblos, unido a los aumentos de población que puedan sufrir en determinadas fechas (las cuales porcentualmente son realmente significativas), desafiará a la red eléctrica y a la industria automovilística.

## ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Está claro que el motivo principal que impulsa esta transición en la movilidad eléctrica es la concienciación medioambiental que están tomando los líderes internacionales. Y hago mención directa a los altos dirigentes porque son ellos los que, a través de sus medidas, tienen la capacidad de dirigir el rumbo de la sociedad hacia una dirección sostenible a largo plazo.

Son muchas las medidas que se están llevando a cabo en Europa en orden al Acuerdo de París; este informe se ceñirá a las medidas relacionadas con la movilidad terrestre y también a aquellas relacionadas con la generación eléctrica, pues es necesaria a la hora de analizar cómo se obtendrá dicha energía.

Parece lógico, por tanto, comenzar haciendo un análisis medioambiental en lo que a energía respecta:

## DEL COMBUSTIBLE FÓSIL A LA ENERGÍA ELÉCTRICA

Siguiendo con lo indicado anteriormente en el apartado *¿CÓMO SE VA A GENERAR ESE AUMENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA?*, y en orden con lo pactado en el Acuerdo de París, se espera que el cien por cien de la movilidad terrestre sea propulsado por energía eléctrica.

Por tanto, si quiere cuantificarse la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero que esta acarreará en primera instancia, se hace necesario desglosar las fuentes primarias empleadas para la generación de dicha energía eléctrica.

Además, es importante precisar dos modelos diferentes de generación energética: el existente actualmente en el 2021, y el esperado en el *dead line* de 2050. Esta escisión es más que necesaria, pues, si las energías renovables siguen aumentando su peso, la media de tonelada de CO<sub>2</sub> contaminada por cada MWh generado será muy dispar.

Para ello, se recomienda al lector paralizar la lectura de dicho apartado y divagar sobre los posibles abanicos de generación en los que podrá encontrarse el Sistema Eléctrico Español en dicha fecha; acompañándose para ello de la lectura del ANEXO A: ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN ESPAÑA.

Para entender la importancia que tendrá el desarrollo de los sistemas de almacenamiento energético en Europa durante las próximas décadas, se hace necesario atender de nuevo a las decisiones tomadas por Europa, pues de ellas emanarán las acciones que el colectivo industrial llevará a cabo para su consecución.

## SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

Se define almacenamiento de energía como el *conjunto de métodos, sistemas y tecnologías que permiten transformar y conservar la energía para su uso posterior*<sup>51</sup>. Debido a que el interés de este proyecto es crear sinergias entre la industria automovilística y la red eléctrica, se definirán en este apartado los principales sistemas de almacenamiento energético según el informe “Estrategias de Almacenamiento Energético”<sup>52</sup> elaborado por el IDAE.

### CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

A continuación, en la Ilustración 24, se adjunta un cuadro facilitado por el IDAE en el que se engloban el total de las tecnologías de almacenamiento energético:



Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021. Adaptación de European Association for Storage of Energy (EASE).

Ilustración 24: Clasificación de las Tecnologías de Almacenamiento Energético

<sup>51</sup> <https://bit.ly/3ghuL1s> (Página 16)

<sup>52</sup> <https://bit.ly/3ghuL1s> (Páginas 16-25)

Debido a la multitud de sistemas de almacenamiento energético y a la inexistencia de modelos suficientemente probados que verifiquen la rentabilidad de escalar la magnitud de uso a nivel nacional, se prescindirá de entrar a definir su funcionamiento. No obstante, se recomienda al curioso que desconozca de la existencia de estas tecnologías la lectura de dicho informe del IDAE<sup>53</sup>, pues muchas de ellas están actualmente implantadas en la industria, aportando grandes ventajas a sus sectores correspondientes. Lamentablemente, carecen de interés para la movilidad terrestre.

De antemano, se piden disculpas al lector si la información que se adjunta a continuación tiene una elevada semejanza con respecto a este informe. Se ha añadido información procedente de otras fuentes, pero sería una necedad explicar con las burdas palabras del autor estas tecnologías ya definidas con atino por expertos.

## CENTRALES HIDRÁULICAS DE BOMBEO

Debido a la relevancia de este sistema mecánico de almacenamiento, tanto por su funcionalidad como por su extendido uso durante el último siglo, se ha decidido profundizar en este sector. Para un entendimiento más exhaustivo de esta materia se ha creado el ANEXO C: ENERGÍA HIDROELÉCTRICA, véase el apartado BOMBEO HIDRÁULICO.

Las plantas de bombeo almacenan energía en forma de energía potencial gravitacional del agua, cargándose de energía potencial al elevarla desde un depósito inferior a uno situado a una mayor altura o cota (gasta energía eléctrica) y descargándose al dejarla caer y turbinándola tras ganar velocidad (genera energía eléctrica).

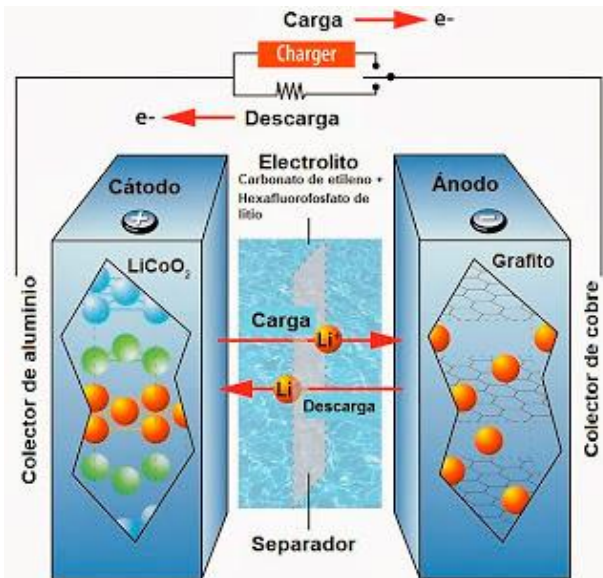
Como se explica en el ANEXO C: ENERGÍA HIDROELÉCTRICA, el rendimiento de este proceso apenas supera el 70%, debido a los rozamientos del bombeo.

---

<sup>53</sup> <https://bit.ly/3B9LETV>

## BATERÍAS CONVENCIONALES

Las baterías electroquímicas clásicas convierten energía eléctrica en energía química para ser almacenada, mediante procesos de oxidación y reducción (reacción redox). Suelen contener dos o más celdas electroquímicas que utilizan reacciones químicas para crear un flujo de electrones en un circuito externo; esto es lo que se conoce como corriente eléctrica.



Los elementos primarios de la celda son los siguientes:

- Dos electrodos: ánodo (polo negativo) y cátodo (polo positivo).
- Un material electrolito (líquido o sólido), que actúa como conductor.
- Membrana permeable, que permite el flujo iónico entre los electrodos.
- Un contenedor, que alberga el resto de los elementos.

Ilustración 25: Esquema de las partes de una batería convencional (ion-litio)

Su funcionamiento, descrito en dicho informe del IDAE, es el siguiente: *el electrolito está en contacto con los electrodos, de manera que la corriente se genera por las reacciones de oxidación y reducción entre el electrolito y los electrodos de la celda. Cuando la batería se conecta a carga, el electrolito próximo a uno de los electrodos provoca la liberación de electrones (oxidación). Mientras tanto los iones próximos al otro electrodo aceptan los electrones (reducción) y completan el proceso de descarga. Revirtiendo dicho proceso la batería se cargaría.*

Una de las principales ventajas de estas baterías convencionales reside en la capacidad que tienen estas celdas de ser apiladas, de ahí que sean fácilmente manufacturadas en la industria. Además, tienen la capacidad de combinarse en serie hasta alcanzar tensiones muy elevadas. Respecto a la potencia de estas baterías, vendrá denotada por el apilamiento de estas celdas en paralelo.

En cuanto a los inconvenientes de esta tecnología se encuentra su incapacidad para resistir bajas temperaturas y la dificultad para obtener corrientes elevadas.

Existen multitud de tipos, como las pilas de plomo-ácido, base sodio, metal-aire, níquel-cadmio, o las extendidas baterías de ion de litio. Estas últimas son las más empleadas por los VE actuales, así como por numerosos dispositivos eléctricos y electrónicos. *Sus perspectivas de crecimiento en el futuro son muy prometedoras.*

Entre las cualidades que se les atribuyen a estas baterías de ion-litio se encuentran:

- Elevada eficiencia energética, entre el 80% y el 90%<sup>54</sup>
- Rapidez de respuesta, de milisegundos, lo que las hizo triunfar en las aplicaciones electrónicas
- Facilidad de instalación y escalabilidad

Más adelante, en el apartado BATERÍAS DE ION-LITIO, se profundizará más sobre este método de almacenamiento energético y sobre su usabilidad en el campo de la movilidad eléctrica rodada.

Por otro lado, se encuentran las baterías de hidruro de níquel-metal (NiMH), cuyo peso es un 25% superior a las de litio y un 20% más voluminosa<sup>55</sup>; además, presentan algunos contrapuntos que la hacen no ser considerada como elementos de referencia para este tipo de baterías convencionales:

- No soporta fuertes descargas (ni elevadas corrientes de carga)
- Menor resistencia a altas temperaturas
- Ciclo de vida limitado (entre 300 y 500 ciclos)
- Baja densidad energética (30-80 Wh/kg), pues son muy pesadas
- Requieren de un mantenimiento elevado

## EL HIDRÓGENO

Este sistema de almacenamiento energético químico se basa en la transformación de energía eléctrica en energía de enlaces químicos de moléculas de hidrógeno (H<sub>2</sub>), para ser extraída de nuevo cuando se requiera.

La densidad energética de estos enlaces es notablemente inferior a la de otros combustibles, lo cual no la invalida en absoluto, pues lo que la caracteriza como potencial vector energético del futuro es su alta densidad energética por unidad de masa (33,3 kWh/kg).

---

<sup>54</sup> <https://bit.ly/3CXcqk5>

<sup>55</sup> <https://bit.ly/3AZfMBd>



Es importante mencionar que el hidrógeno tiene también un fin en sí mismo en procesos industriales, pero en lo que a la movilidad terrestre concierne, no es de su incumbencia.

Es importante denotar, por tanto, que el hidrógeno no es una materia prima en sí mismo, sino un vector energético, capaz de almacenar energía, sea cual fuera su propósito, que por supuestos son ingentes, como se adjunta en la Ilustración 26:

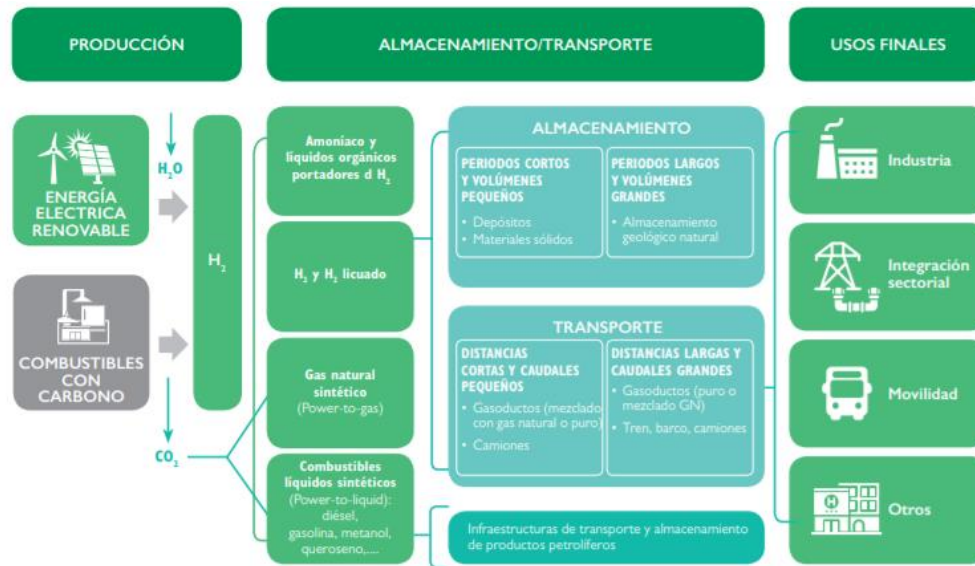


Ilustración 26: Etapas de la Cadena de Valor del Hidrógeno<sup>56</sup>

Esta disruptiva tecnología ya está en el punto de mira de la Comisión Europea y del Ministerio para la Transformación Ecológica y el Reto Demográfico, como puede observarse leyendo el informe de la *Hoja de Ruta del Hidrógeno: una Apuesta por el Hidrógeno Renovable*<sup>57</sup>, destinada a identificar los retos y las oportunidades que pueda aportar el pleno desarrollo del hidrógeno renovable en nuestro país.

Es fundamental incidir en el término *renovable* empleado en multitud de informes: al ser el hidrógeno verde un vector energético que se recarga mediante energía eléctrica, la característica de renovable o contaminante vendrá impuesta por el origen de la energía eléctrica empleada para su carga.

Así, al término hidrógeno le pueden acompañar una de las siguientes tres acepciones, en función de la materia prima necesaria y a las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas para su obtención:

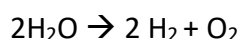
<sup>56</sup> <https://bit.ly/3ghGqgS>

<sup>57</sup> <https://bit.ly/3ghGqgS>

## CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE HIDRÓGENO

Para la siguiente clasificación se ha recopilado información procedente de la Agencia Internacional de Energía, más concretamente del informe titulado *El Futuro del Hidrógeno*, publicado en junio de 2019<sup>58</sup>:

- **Hidrógeno gris:** contaminante, originado por un proceso de producción que conlleva unas elevadas emisiones de GEI. Suele ser producido a partir de gas natural, metano o gases licuados de petróleo mediante procesos de reformado. A fecha de 2021, el 99% del hidrógeno consumido en España es de este tipo, con un consumo de unas 500 000 toneladas al año (refinerías 70%, fabricación de productos químicos 25%, metalurgia 5%), normalmente generado en las propias plantas mediante instalaciones de reformado con vapor de gas natural.
- **Hidrógeno azul:** bajo en carbono, producido a partir de la integración en procesos de combustión de combustibles fósiles (parecido al hidrógeno gris), en los que se han incorporado sistemas del almacenamiento y captura de CO<sub>2</sub>, reduciendo así hasta el 95% de las emisiones asociadas de CO<sub>2</sub>.
- **Hidrógeno verde:** renovable, generado a través del consumo de electricidad procedente de energías 100% renovables, usando el agua como materia prima de almacenamiento. El proceso consiste en disociar la molécula de agua (H<sub>2</sub>O) en oxígeno (O<sub>2</sub>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>) en estado gaseoso por medio de una corriente eléctrica continua.



Además de poder tener el origen en energía 100% renovable, puede verse generado por reformado de biogás o conversión bioquímica de biomasa, cumpliendo ciertos requisitos de sostenibilidad. El primer origen es el de mayor interés debido a la futura finalidad que tendrá el hidrógeno verde en la red mayoritariamente renovable.

- También existe la nomenclatura de **hidrógeno negro** o **hidrógeno marrón**, para los que se emplean el carbón, la energía nuclear o la electricidad de la red (cuyo origen de los electrones es desconocido) como materia prima, pero no es de interés.

El hidrógeno verde será el que se tendrá en cuenta como objeto de estudio en lo que se avicina de informe, tanto por su funcionalidad aplicada a la movilidad eléctrica como al almacenamiento de energía eléctrica.

---

<sup>58</sup> <https://bit.ly/3B4tRNT>

Como se ha dicho anteriormente, el proceso de obtención de este hidrógeno verde se lleva a cabo mediante electrólisis, generalmente. Esta transformación, en función de la materia prima que se utilice para su producción, puede clasificarse en diferentes métodos. Sin embargo, el interés de esta explicación se aleja de la línea del presente proyecto, por lo que se recomienda al lector que, si le interesa dicha profundización, visualice el

## OTROS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

De entre todos los sistemas de almacenamiento energético expuestos en la Ilustración 24, además de las ya explicadas con mayor detenimiento, se adjunta a continuación un brevísimo resumen de aquellas que están consiguiendo cierta atención del sector energético, según Iberdrola como fuente<sup>59</sup>:

### Ilustración 24: Clasificación de las Tecnologías de Almacenamiento Energético

- Aire Comprimido

Las instalaciones encargadas de almacenar energía según estas tecnologías cuentan con un motor reversible que, durante los momentos de escasa demanda energética, usan energía de la red para almacenar el aire ambiente a altas presiones bajo tierra. Cuando se desea extraer energía, bastará con permitir la expansión de dicho depósito y extraer la energía a través de turbinas. Este proceso puede ser diabático (si se transfiere calor al entorno) o adiabático, siendo este segundo el de mayor rendimiento (poco mayor del 70%, siendo inferior a la hidráulica).

- Almacenamiento Térmico

Este proceso se basa en la acumulación de energía calorífica en materiales que permitan retenerla y liberarla de manera controlada. Existen numerosas variaciones de esta lógica, como el almacenamiento de calor sensible, de calor latente y de calor termoquímico; variando desde la refrigeración mediante acumulación de hielo hasta la exposición de elevadísimas temperaturas (1400<sup>o</sup> C, silicio). Su rendimiento puede llegar al 90%.

- Supercondensadores

Se trata de dispositivos capaces de almacenar grandes cantidades de energía eléctrica durante breves períodos de tiempo en forma de cargas electroestáticas, sin necesidad de que se produzcan reacciones químicas. Son soluciones óptimas para responder a necesidades puntuales de potencia o a breves interrupciones en el suministro de la red.

---

<sup>59</sup> <https://bit.ly/2XK6U43>

Se está investigando cómo combinarlas con baterías y cómo mitigar la toxicidad de dichos electrolitos. Tienen un gran rendimiento (90%).

- Volantes de Inercia

Este ingenioso sistema de almacenamiento energético está basado en la aceleración o desaceleración de un disco metálico de gran masa, conservando la energía cinética. Su funcionamiento se regula mediante electrónica de potencia y está basada en la rápida respuesta dinámica que permite regular la máquina de inducción. Tiene un elevado ciclo de vida y una fácil instalación, así como un gran rendimiento (85%).

## POTENCIALES NECESIDADES DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

En función de las características que definen cada sistema de almacenamiento energético, estarán diseñados para cumplir diferentes requisitos de almacenamiento. Por ejemplo, el rol que desempeñan actualmente las centrales hidroeléctricas en el *mix* energético es el de ayudar a suplir la demanda en aquellas horas del día en las que aumenta la cantidad de energía requerida.

Sin embargo, por seguir con el ejemplo de las hidráulicas, estas están capacitadas para retener grandes volúmenes de agua durante largos períodos de tiempo, a lo largo de los meses, por lo que también estarían preparadas para almacenar esa energía potencia gravitatoria y liberarla cuando la contribución de ciertas centrales se vea mermada durante largos períodos de tiempo, como podría ser el caso de las centrales solares fotovoltaicas durante los meses de invierno.

Por otro lado, podrían situarse las tecnologías basadas en supercondensadores, los cuales, según hemos definido, están únicamente capacitados para almacenar energía durante pequeños períodos de tiempo. Esto significa que su contribución al aplanamiento de la curva de demanda (o más bien curva de generación) será, como mucho, intradiaria.

En lo que respecta al autoconsumo, las baterías detrás del contador, empleadas básicamente para retener la energía solar fotovoltaica durante las horas de sol y



liberarla durante la noche, tendría un ciclo diario. Este sistema está permitiendo a muchas segundas residencias abastecerse energéticamente incluso sin necesidad de estar conectados a la red eléctrica.

Este razonamiento de valorar enormemente la necesidad de un correcto sistema nacional de almacenamiento energético se posiciona

de acuerdo con el PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima) 2021-2030 y la ELP (Estrategia a Largo Plazo para una Economía Española Moderna, Competitiva y Climáticamente Neutra), las cuales defienden el almacenamiento energético como uno de los elementos habilitadores de la consecución de la neutralidad climática<sup>60</sup>. Por supuesto, contribuirá también a una mayor estabilidad en los precios de la luz, la cual conviene repetir que ya está sufriendo el encarecimiento esperado.

Es importante hacer esta diferenciación entre la futura escalabilidad de cada uno de los sistemas de almacenamiento energético<sup>61</sup>, brindada por REE:

#### ESCALABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

- A gran escala (GW): hidroeléctrica reversible (bombeo); almacenamiento térmico
- Almacenamiento en redes (MW): acumulación de pilas y baterías; condensadores y superconductores; volantes de inercia
- A nivel de usuario final (kW): baterías; superconductores; volantes de inercia

Según el juicio del autor de este proyecto, los superconductores probablemente no tengan ninguna funcionalidad a nivel de usuario final en cuanto a almacenamiento energético se refiere; respecto al almacenamiento en redes, quizá podría tener cierta funcionalidad si se abaratasen los costes de infraestructura (lo ideal es mantener temperaturas criogénicas). Si se analizan otras tecnologías como el almacenamiento de pilas de hidrógeno y baterías de ion-litio, puede suponerse fácilmente a que estas superarán fácilmente la versatilidad de estos complejos superconductores.

Aparte de esta diferenciación de escalabilidad, es también necesario hacer una diferenciación en el alcance temporal de los sistemas de almacenamiento:

<sup>60</sup> <https://bit.ly/3z585J8>

<sup>61</sup> <https://bit.ly/37YvWhw>

## ALCANCE TEMPORAL DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

En función de la ciencia que rige cada tecnología de almacenamiento desarrollada será la capacidad de estos sistemas de conservar la energía acopiada sin incurrir en pérdidas. Así, el IDAE facilita las siguientes distinciones<sup>62</sup>, aunque sin mojarse respecto a los elementos que formarán cada grupo:

- Baterías detrás del contador, a nivel residencial: se estima que estos depósitos de energía tendrán un papel fundamental a corto plazo. A este grupo esperan que pertenezcan los VE, bombas de calor, acumuladores, etc.
- Almacenamiento a gran escala diario-semanal: baterías, bombeo hidráulico, energía térmica en centrales solares termoeléctricas
- Almacenamiento estacional: hidroeléctrica

De acuerdo con esto, el organismo derivado del Ministerio ha realizado sus propias estimaciones de almacenamiento energético requerido por la red eléctrica nacional durante las próximas décadas, resultando en la gráfica de la Ilustración 28:

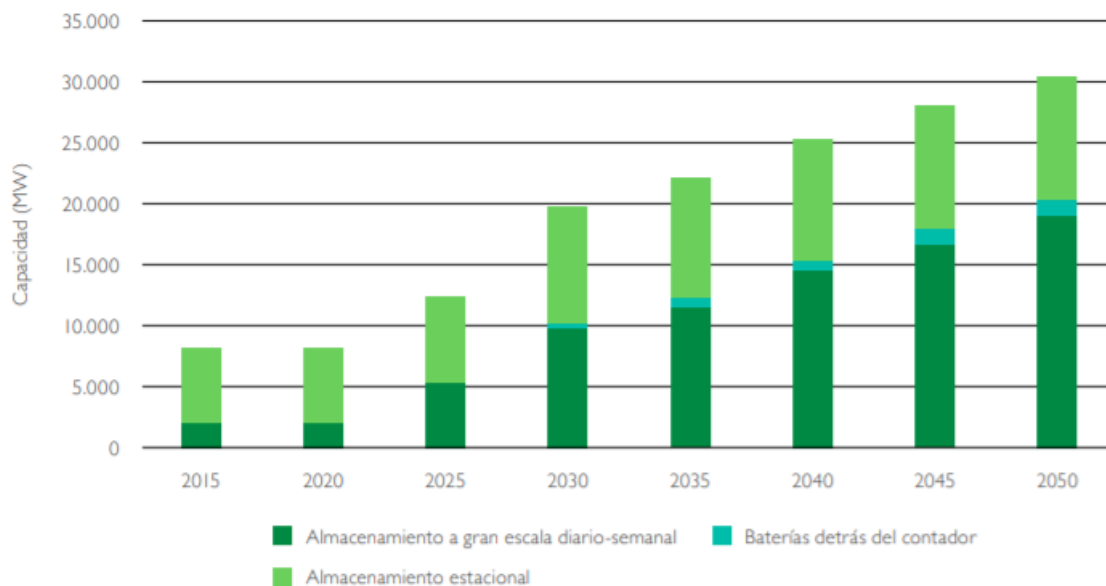


Ilustración 28: Previsión de Necesidades de Almacenamiento Energético (IDAE)<sup>63</sup>

<sup>62</sup> <https://bit.ly/3D4D2zt> Página 86

<sup>63</sup> <https://bit.ly/2UFfi3K> (Página 86)

El autor de este proyecto adjunta dicha gráfica con la intención de tener valores de previsión del almacenamiento energético necesario para las próximas décadas cuyo origen sean fuentes respetables, en este caso procedente de organismos nacionales.

No obstante, considera que el almacenamiento necesario será mucho mayor del previsto por estas entidades, como declarará y defenderá más adelante en el apartado correspondiente.

## EL PAPEL DEL HIDRÓGENO EN LA SOCIEDAD DEL FUTURO. RED ELÉCTRICA Y MOVILIDAD

Es sabido que alrededor del mundo existen un numeroso grupo de empresas, organismos públicos e inversores interesados en este novedoso tema. A pesar de las numerosas invenciones en este sector energético, en España todavía es un proyecto de futuro, aunque gracias a la acentuación de la atención posada sobre este campo, se está convirtiendo en un futuro a corto plazo.

Como se advirtió en el apartado de EL HIDRÓGENO, para tomar como referencia unos datos sólidos, el autor ha visto conveniente basarse en documentos oficiales del Estado. Así, gran parte de la información será extraída de la *Hoja de Ruta del Hidrógeno: Una Apuesta por el Hidrógeno Renovable*<sup>64</sup>, creada a través del Marco Estratégico de Energía y Clima por el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico.

El hidrógeno renovable está encaminado a ser uno de los vectores energéticos más valiosos de las próximas décadas. Son muchas las aplicaciones en las que se espera que esta tecnología despegue, como son la movilidad eléctrica, el almacenamiento energético de la red eléctrica o como materia prima de la industria.

Los objetivos últimos del hidrógeno renovable en nuestro país son los siguientes:

- Reducir las emisiones contaminantes locales y los GEI, consecuentes de los diferentes ciclos productivos
- Aprovechamiento de la energía renovable excedentaria generada en las horas valle de la demanda eléctrica, mediante el almacenamiento de dicha energía, permitiendo la gestionabilidad y la continuidad de suministro

---

<sup>64</sup> <https://bit.ly/2Wf4cTa>

- Ampliar la descarbonización y la energía renovable a aquellos sectores donde la electrificación no sea la idónea (porque no sea rentable o viable)

Los ambiciosos, pero alcanzables objetivos de la UE en cuanto a la descarbonización allanarán el camino a nuevas inversiones en el sector, pues nuevas ayudas estatales y europeas permitirán la introducción de nuevos centros de investigación, así como nuevos proyectos de desarrollo por parte de las empresas involucradas en la materia.

No obstante, la UE advierte que *deben fomentarse avances en aquellas áreas en las que la electrificación no sea la solución más eficiente, o bien no sea técnicamente posible en el medio plazo*. Estas recomendaciones están orientadas a desarrollar la competitividad entre las empresas, así como su rentabilidad económica (la cual es sabido que puede pasar a un segundo plano cuando hay grandes subvenciones de por medio).

Entre los sectores recomendados por Europa se encuentran los siguientes:

- Transporte público e intermodal (aeropuertos, puertos, plataformas logísticas, etc.)
- Almacenamiento energético en aquellas zonas peor electrificadas
- Almacenamiento energético en sistemas eléctricos insulares
- Descarbonizar el sector del calor

Obviamente, la Comisión también aboga por identificar nuevos sectores potenciales en los que su uso pueda ser medioambientalmente beneficioso.

Por lo que puede extraerse en el informe, Europa no tiene la intención de hacer crecer la movilidad eléctrica basada en las pilas de hidrógeno, en cuanto a vehículos particulares se refiere.

No obstante, aunque el autor de este proyecto esté de acuerdo con dicha posición, debe aclararse que las alegaciones que aquí se exponen no pretenden seguir la línea de las estimaciones ni de las recomendaciones declaradas por los organismos públicos (ni tampoco por las empresas privadas), sino que pretenden ir en la línea del razonamiento y el juicio personal, que afortunadamente coinciden en alguna ocasión con dichas declaraciones público-privadas.

Volviendo al avance en España de estos vectores energéticos, a pesar de los esfuerzos de ciertas empresas españolas como ARIEMA<sup>65</sup> por introducir esta tecnología en nuestro día a día, parece que este logro se está haciendo de rogar. Mientras tanto, en otros

---

<sup>65</sup> <https://bit.ly/3z370Bu>



países como Japón el desarrollo de esta industria ha conseguido introducirse en los hogares y en las carreteras del país.

Así, según cifras que proporcionó esta misma empresa en una de las Mesas Redondas de la Cátedra de Rafael Mariño de ICAI, 300 000 hogares japoneses ya cuentan con esta tecnología<sup>66</sup>.

Si bien esta tecnología puede estar actualmente intentándose implementar a nivel residencial con mayor ahínco en países como Japón o China, no parece que sea una de las prioridades de España a fecha de 2021. Más adelante, se dará la visión del autor para las próximas décadas.

Lo que sí está claro es que tanto en la industria como en la integración de las energías renovables va a tener una perspectiva más cercana. Cabe preguntarse entonces cómo va a transportarse este vector energético:

## ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DEL HIDRÓGENO

Estimaciones de la AIE y del MITECO han ido ingeniando qué métodos serán necesarios a la hora de transportar el hidrógeno almacenado, el cual se presentará en estados muy diversos:

- Portadores de hidrógeno como amoniaco o líquidos orgánicos (LOHC): en estado líquido, fácilmente transportable mediante las redes actuales de suministro, como el amoniaco
- Hidrógeno en estado gaseoso: de muy baja densidad, presenta desventajas como su almacenamiento a gran escala y transporte a largas distancias. Como ventaja consecuente de esta dificultad, aparece por tanto el almacenamiento a presión de H<sub>2</sub> comprimido, idóneo para la movilidad a través de las conocidas *hidrolíneas o hidrogeneras*. Otras ideas, como la creación de una red de *hidroductos* también se están barajando
- Hidrógeno licuado: similar al GNL (Gas Natural Licuado). Óptimo para el almacenamiento de grandes cantidades, pero con la restricción de que este almacenamiento no se prolongue en el tiempo, pues requiere de un aporte energético para su mantenimiento

---

<sup>66</sup> <https://bit.ly/3AUOs76> (Página 29)

- Hidrógeno combinado: para producir similares a los combustibles fósiles

Según lo previsto por estas entidades, la logística para el transporte del hidrógeno en el largo plazo puede seguir la estimación de la Ilustración 29:

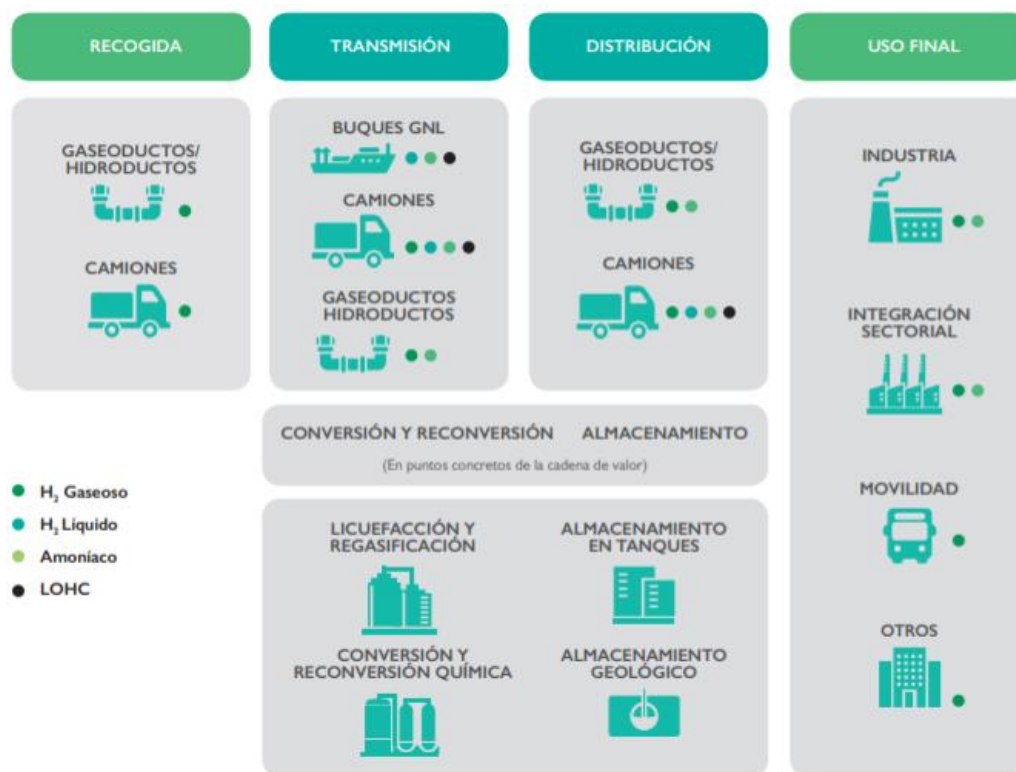


Ilustración 29: Logística del Transporte del Hidrógeno

## APLICACIONES DEL HIDRÓGENO VERDE EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA RODADA

Tras esta densa explicación sobre el funcionamiento del hidrógeno, para la cual conviene recordar que se ha basado en un informe del MITECO en el que han contribuido un total de sesenta y siete entidades, organizaciones y asociaciones<sup>67</sup>, va a procederse brevemente a definir el estado actual y las aplicaciones del hidrógeno en lo que a movilidad eléctrica rodada se refiere.

En el 2019, la cifra de vehículos ligeros (turismos y furgonetas) circulando alrededor del mundo alcanzaba las doce mil matriculaciones, acaparando una gran mayoría de ellas Japón y seguidas de Canadá y Alemania de manera más anecdótica.

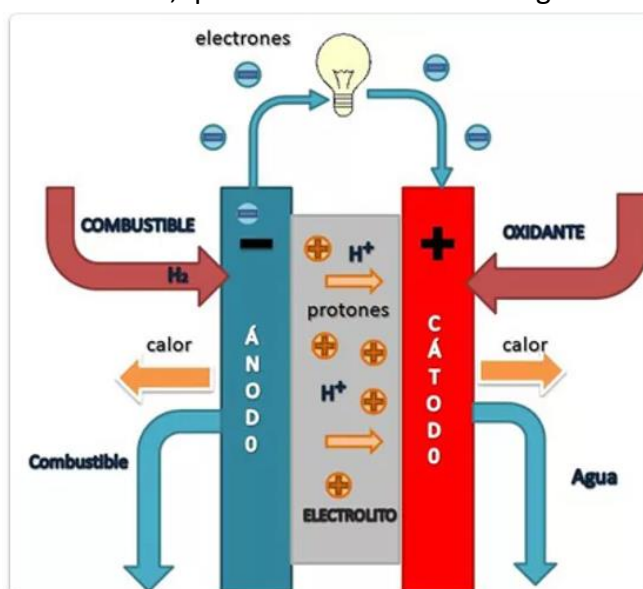
<sup>67</sup> <https://bit.ly/3D3RVSK> (Página 61)

Según relata la DGT en sus tablas estadísticas<sup>68</sup> del pasado año 2020, en dicha fecha existía la increíble leyenda de unas dos matriculaciones de estos vehículos ligeros de hidrógeno. En el 2021, esta cifra ha aumentado hasta las doce matriculaciones<sup>69</sup>.

No obstante, algunas ciudades como Barcelona están adquiriendo autobuses de pila de hidrógeno para el transporte público. A juicio del autor, es en este tipo de vehículos pesados (autobuses y camiones) en los que la introducción del hidrógeno puede tener un futuro más prometedor.

## LA PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO

Este sistema del almacenamiento propulsor de los vehículos de hidrógeno actuales presenta diferentes variantes en función del tipo de celdas de combustible que las caracterice, pero su funcionamiento general se basa en las siguientes tres partes apreciables en la Ilustración 30:



- **Carga positiva** (en color rojo), recibe el oxidante (O<sub>2</sub> procedente del aire)
- **Carga negativa** (en color azul), recibe el combustible (H<sub>2</sub> a 70 MPa)
- **Electrolito** (en color gris), mantiene separadas ambas partes y permite el intercambio de protones de hidrógeno

Ilustración 30: Pila de Combustible (PEM, Pila de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico)<sup>70</sup>

Se ha elegido la variante PEM por ser la más empleada en la industria automovilística, hasta el momento.

Según esta Ilustración 30, el gas comprimido H<sub>2</sub>, llega al terminal positivo a elevadísimas presiones, por lo que el depósito requiere de una gran rigidez, siendo capaz de almacenar entre 50 y 120 litros de H<sub>2</sub> (5-10 kg de H<sub>2</sub>).

Si se quiere mejorar la química de la pila de combustible, acelerando las reacciones químicas de la célula de combustible), como es lo idóneo, el terminal positivo debe estar

<sup>68</sup> <https://bit.ly/3kbqpKv>

<sup>69</sup> <https://bit.ly/3j69I3E>

<sup>70</sup> <https://bit.ly/3ATdcwy>

fabricado por un catalizador de metales preciosos (por ejemplo, el platino). Como puede suponerse, esto implica un notable sobrecoste.

Cuando el  $H_2$  llega al catalizador, se divide en iones de hidrógeno (protones) y electrones. Los protones son atraídos al terminal negativo, y gracias al electrolito (fibra membrana de polímero), se controla que solo los protones puedan fluir en este sentido. Los electrones, portadores de la energía necesaria, fluyen a través del circuito exterior, alimentando el motor y otros sistemas eléctricos y electrónicos del VE.

La recombinación de electrones y protones en el terminal negativo con el oxígeno produce vapor de agua, que será desprendida por el tubo de escape.

Este método descrito presenta una eficiencia del 60%, bastante escasa comparado con las baterías de ion-litio conocidas. A base de investigación y desarrollo se estima, como se ha mostrado previamente en la Ilustración 54. La consecución o no de estas mejoras será la responsable de decidir el futuro de la movilidad eléctrica.

Respecto a la autonomía, 1kg de  $H_2$  permite recorrer unos 100-120 km. Las baterías se han ideado para albergar entre 4 y 6 kg de  $H_2$ , *i.e.* unos 600 km de autonomía. Además, el proceso de recarga de estos depósitos se lleva a cabo en menos de cinco minutos.

Este  $H_2$  es almacenado en autobuses y camiones a unos 350 bares, la mitad que los 700 bares necesarios para los coches disponen de una menor capacidad, por lo que necesitan ser más mucho compactos, con el sobrecoste de producción que ello conlleva (materiales más rígidos, mayor energía para comprimir el  $H_2$ , etc.).

## TIPOS DE VEHÍCULOS DE HIDRÓGENO

Puesto que una imagen vale más que mil palabras, se ha decidido adjuntar en imágenes los esquemas de funcionamiento de los principales tipos de VE de pila de hidrógeno, antes que en formato texto. Resultará más claro al lector.

Como se acaba de explicar, uno de los tipos de vehículo de pila de hidrógeno que parece presentar mayor perspectiva de futuro es el PEM, conocido como el vehículo “puro” de pila de combustible de hidrógeno, o **Fuel Cell Vehicle (FCV)**.

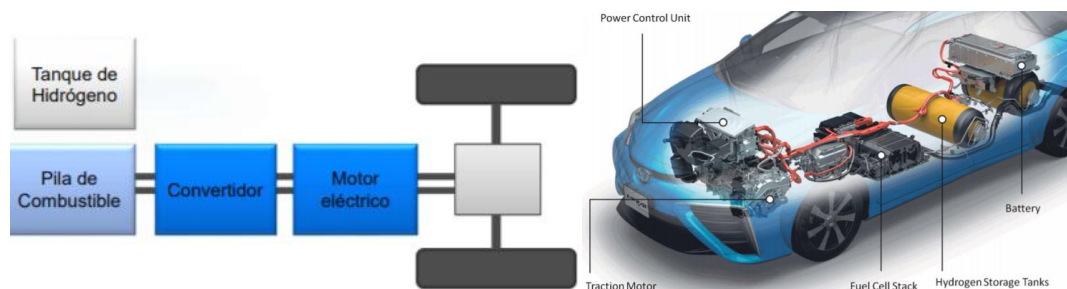
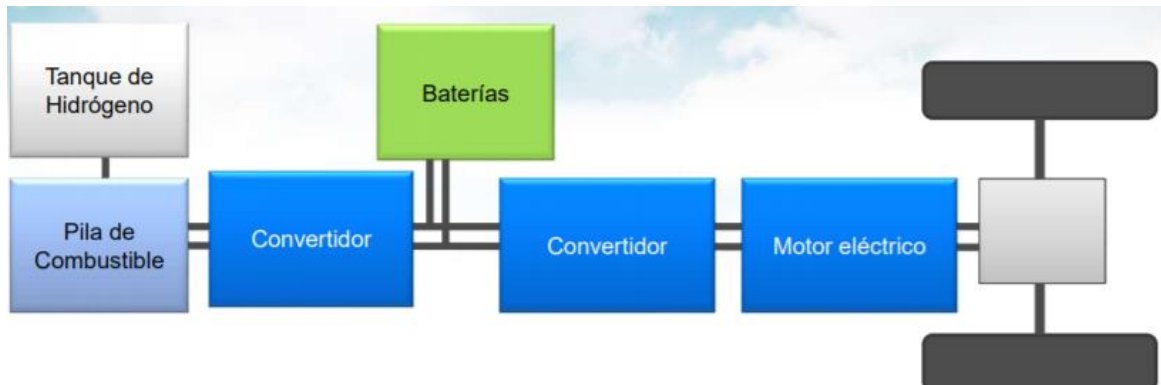


Ilustración 31: Esquema FCEV (izda.) y Arquitectura del Toyota Mirai FCEV (dcha.)

Otra opción existente en el mercado es la integración dentro del coche de una batería que alberguen la energía eléctrica producida por esta pila de combustible. Para ello, se requerirá un convertor que convierta la corriente en continua, para ser almacenada en las baterías, y posteriormente un inversor para alimentar el motor eléctrico.



*Ilustración 32: Vehículo de Pila de Combustible (FCEV)*

Entre las marcas de coches que emplean este modelo, se encuentra el Toyota Mirai.

El autor del proyecto presenta cierto favoritismo hacia lo que parece una versión mejorada de los vehículos de pila de hidrógeno, los híbridos enchufables, como la versión de Daimler. Su esquema es similar al de los FCEV, pero con una batería mucho más grande que permite ser recargada directamente desde la red eléctrica.

## BATERÍAS DE ION-LITIO

En la actualidad de la movilidad eléctrica en España, prácticamente el total del mercado está cubierto por este tipo de VE. Gozando así con la ventaja de la experiencia debida a la ingente inversión por parte del sector automovilístico en el desarrollo de estos sistemas de almacenamiento energético.

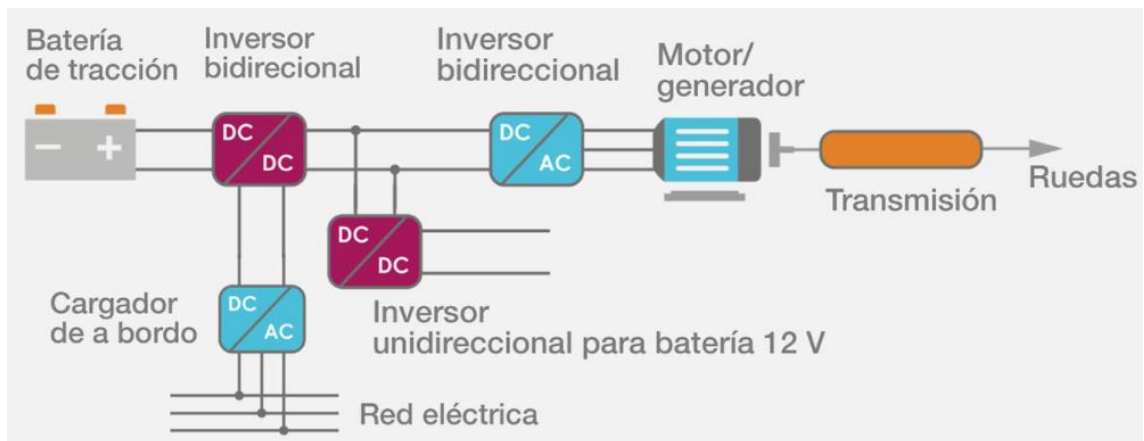


Ilustración 33: Partes de un VE

A diferencia de otras tecnologías de almacenamiento energético, como la pila de hidrógeno, las baterías de ion-litio cuentan con multitud de datos reales y comparaciones sobre las características que las definen, por lo que antes de profundizar en este tema, se definirán los términos que caracterizan a la batería:

- **Densidad energética [Wh/kg]:** identifica la energía que almacena y suministra la batería en kilovatios por hora. A mayor densidad, mayor autonomía por kg de batería
- **Capacidad de la batería [kWh] o [Ah]:** energía que puede aceptar una batería durante su recarga para posteriormente ser usada
- **Potencia [W/kg]:** capacidad que tiene la batería de proporcionar potencia al motor en el proceso de descarga. A mayor potencia, mayor velocidad y/o par motor. Esta potencia puede hacer referencia también a la potencia máxima que acepta el sistema de almacenamiento para su recarga
- **Ciclo de vida:** número estimado de ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería durante su vida útil. Hace referencia a la durabilidad de la batería para su uso. El porcentaje de almacenamiento energético respecto de su capacidad inicial comienza a reducirse debido a la degradación de la misma, bajando rara vez del 80-85% de la nominal
- **Eficiencia (%):** rendimiento de la batería respecto de la energía que se suministra para su recarga comparada con la que esta puede suministrar al motor para su uso hasta su descarga. Actualmente los rendimientos de las baterías de ion-litio están consiguiendo alcanzar rendimientos aproximados al 90%, lo que las posiciona como el método más eficiente de almacenamiento

Un gran número de las baterías de los VE basadas en el litio (prácticamente todos) que rondan por nuestras carreteras están fabricadas principalmente por el compuesto de Ion-Litio ( $\text{LiCoO}_2$ ). Entre las ventajas que presentan se encuentran:

- Alta densidad energética [100-250 Wh/kg]
- Menor tamaño y peso
- Alta eficiencia (85%-90%)
- Se ha mejorado enormemente la vida útil, cuyo ciclo de vida oscila entre los 600 y 1500 ciclos de carga descarga, momento a partir del cual empieza a bajar su rendimiento (varía mucho en función de la fuente y la empresa)

Sin embargo, estas baterías ya se basan en el polímero de litio, cuyo funcionamiento y prestaciones son muy semejantes a las anteriores, pero con una mayor densidad energética [300 Wh/kg], ligereza y eficiencia. No obstante, el ciclo de vida de rendimiento óptimo se ha acortado a los 1000 ciclos, aunque ahora las pérdidas de rendimiento que se producen son menores.

Entre las desventajas se encuentran su elevado coste de producción, debido principalmente a la desorbitada inversión en I+D por parte de las empresas correspondientes, así como los gastos en infraestructura. Empresas como Tesla, con una colosal producción de sus vehículos, pueden amortizar fácilmente esta última inversión, reduciendo descomunalmente su coste por unidad fabricada.

Las baterías de ion-litio aplicadas a la fabricación de VE difieren enormemente en cuanto a complejidad estructural respecto de aquellas empleadas para otros fines cuyos requisitos energéticos sean mucho menores, como las pequeñas baterías de los teléfonos móviles.

## DISEÑO DE LA BATERÍA DE ION-LITIO

Por otra parte, se hace de interés diferenciar entre los diferentes niveles que presentan las baterías en el interior de su sistema de funcionamiento, como puede apreciarse en la Ilustración 34:

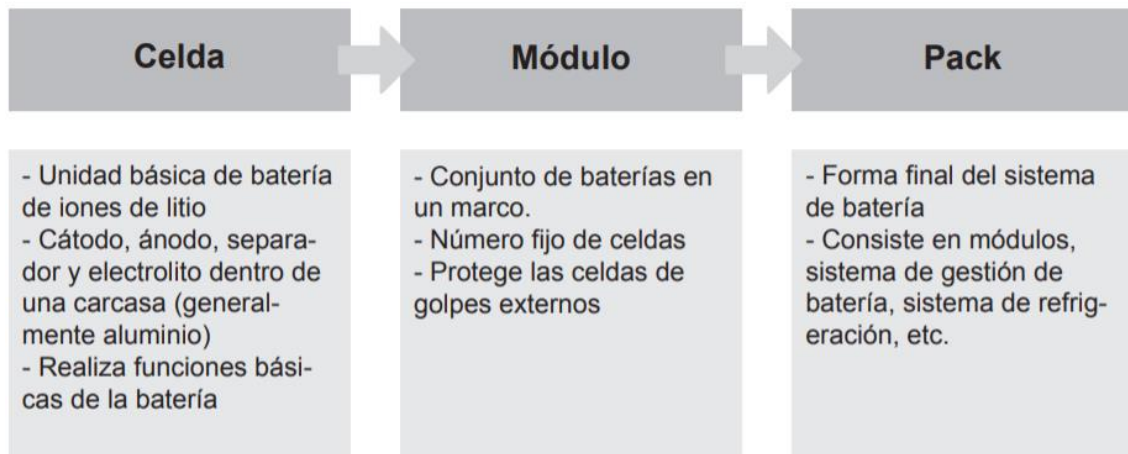


Ilustración 34: Integración de la Batería de Ion-Litio (niveles)

Esta es la solución elegida por la mayoría de los fabricantes en la industria automovilística, pues la estructura modular es la que aporta mayor flexibilidad. Dentro de esta estructura capilar, pueden diferenciarse según su tamaño de celdas:

#### Muchas celdas (pequeñas)

- Menor coste por celda
- Mayor facilidad de refrigeración

#### Pocas celdas (grandes)

- Menor coste de ensamblaje
- Mayor eficiencia de peso y volumen
- Mayor fiabilidad

A fecha de 2020, el origen estimado de la fabricación de baterías de ion-litio de VE está ocupado en más de un 60% por China, seguido por casi un 20% de Corea del Sur, un 10% de EE. UU. y otro 10% de Europa.

Respecto a las empresas encargadas de la producción de las baterías, destacan CATL con casi un 20% y Panasonic con más del 15%, seguidas de BYD y LC Chem, con casi un 10% cada una. Se espera que Tesla ocupe una importante posición dentro de este mercado en los próximos años, debido principalmente al desarrollo de las innovadoras baterías 4680.



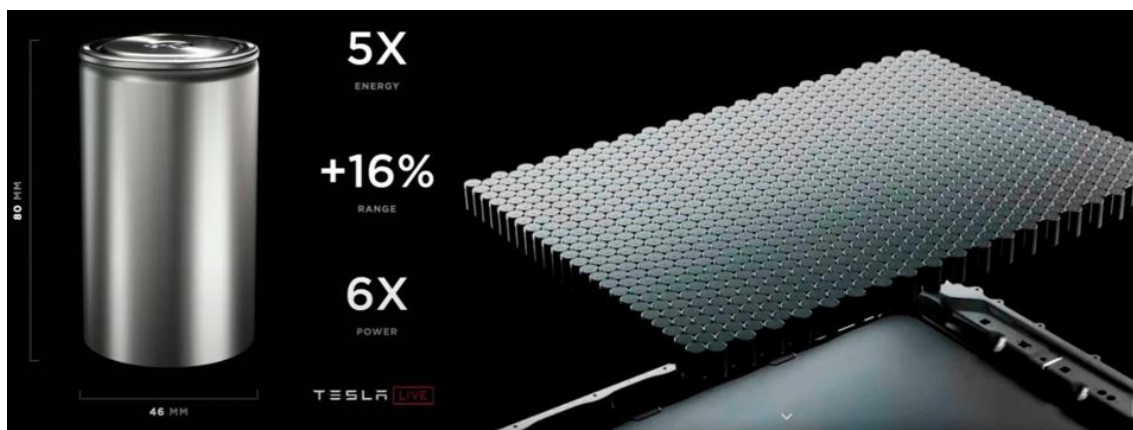


Ilustración 35: Celda 4680 de Tesla (izquierda) y Pack (derecha)

## MEJORA DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIAL DE LAS BATERÍAS DE LITIO

Respecto al impacto medioambiental que estas generan, no está todavía muy avanzado, pues su eliminación es difícil y costosa. Numerosas empresas permiten la opción de alquilar el uso de estas baterías, de manera que cuando su capacidad de almacenamiento o su rendimiento baje del 85% de la inicial, serán reemplazadas sin sobrecoste.

En cuanto a la segunda vida de las baterías de ion-litio, estas pueden ser almacenadas para servir como sistema de almacenamiento energético a la red.

El uso de grandes baterías de litio ya es defendido por gigantes del sector eléctrico como Iberdrola<sup>71</sup> o REE, esta última en su *Proyecto Almacena*.

Este *Proyecto Almacena*, para el cual se emplea una batería prismática<sup>72</sup> de ion-litio con una potencia de 1 MW y una capacidad de 3MWh, sirve como apoyo a la red de un pueblo con malas interconexiones, llamado “Carmona”, y cuya mejora de la red resultaría extremadamente costosa. Básicamente, esta megabatería almacena la energía sobrante de un parque eólico situado en los alrededores para ser empleada en horas del día con mayor consumo.

El autor de este proyecto considera que este tipo de sistemas de almacenamiento serán fundamentales en la próxima década, cuando el auge de las renovables a pequeña escala prolifere en aquellas zonas rurales mal interconexionadas en las que el coste o alquiler del suelo es extremadamente barato y en los que aumentará tremendamente el consumo eléctrico con la llegada de este tipo de vehículos.

<sup>71</sup> <https://bit.ly/3zb0SHB>

<sup>72</sup> El diseño de la disposición de las baterías suele ser cilíndrica o prismática

Sin embargo, para el diseño inicial y construcción de estos almacenes de baterías se producen directamente baterías nuevas, lo cual no sería necesario si pudiesen apilarse o conectarse baterías de segunda mano.

En estos casos, una reducción de la capacidad de almacenamiento de la batería no afectará prácticamente a la función que desempeñarán, pues para alcanzar la capacidad energética necesaria simplemente será necesario usar un número mayor de baterías.

Asimismo, fondos europeos y nacionales como el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) están intentando fortalecer económica y socialmente estas áreas rurales. Gran parte de estos territorios no están capacitados para la llegada del VE, y la adaptación por parte del sistema eléctrico no sería ni rentable ni necesaria existiendo este tipo de soluciones.

## LOS BENEFICIOS DEL LITIO PARA LA MOVILIDAD Y LA ENERGÍA SOSTENIBLE

Según BloombergNEF<sup>73</sup>, se espera que para el año 2040 existan más de 500 millones de VE en circulación alrededor del mundo. Puede uno hacerse una idea de la cantidad de recursos naturales necesarios para la producción de dichas baterías.

Sin embargo, a fecha de 2021, las noticias relacionadas con las baterías de litio son muy alentadoras, pues los precios de esta materia prima y el coste de fabricación de las baterías sigue bajando, a la par que se producen mejoras en las tecnologías empleadas.

Como ya se ha mencionado previamente, este progreso en la usabilidad del litio, gracias en gran parte a las inversiones del sector automovilístico, ha conseguido que se descubra una serendipia en el sistema eléctrico, pues este pequeño elemento de la tabla periódica posee un elevado potencial electroquímico para almacenar energía.

De nuevo, según el informe recién mencionado de BNEF, el coste de estas baterías seguirá reduciéndose notablemente durante la presente década, acarreado principalmente por la borrasca de ingresos que las empresas de ambos sectores van a revertir.

Esta capacidad de reinversión, unida a los maravillosos abaratamientos que trae consigo la producción a gran escala, ha permitido a esta compañía vaticinar una reducción del 50% en los costes estas baterías para antes del 2030.

---

<sup>73</sup> <https://bit.ly/3B4vTNK>

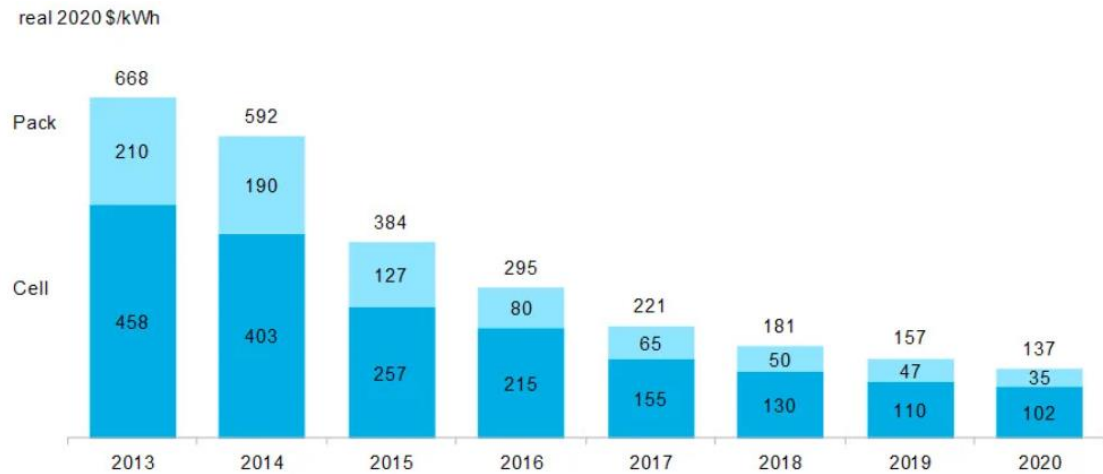


Ilustración 36: Evolución del Coste de Producción de Baterías de Ion-Litio (Azul Claro, Módulos; Azul Oscuro, Celdas)<sup>74</sup>

Según la misma fuente, la necesidad mundial de almacenamiento de energía para 2040 variará desde los actuales 9/17 GWh hasta los 1 095/2 850 GWh, lo que, según la compañía, requerirá de una inversión superior a los 662 000 millones. Esto significa un crecimiento exponencial que multiplicará por 150 las necesidades de almacenamiento actuales.

#### NIO: BATERÍAS DE ION-LITIO INTERCAMBIABLES

Si el lector es inversor en acciones de bolsa, o bien tiene allegados avisados, probablemente habrá oído hablar sobre cómo evolucionó durante el 2020 el precio de las acciones de NIO, empresa automovilística china. Aquel que invirtiese un euro durante el confinamiento en esta empresa habría obtenido unos beneficios de 20 euros, a pesar de no haber vendido en el momento óptimo y mantener las acciones a fecha de agosto de 2021.



Ilustración 37: Evolución del Precio de las Acciones de NIO

<sup>74</sup> <https://bit.ly/3AZO0EA>

Esta marca de coches se caracteriza por una invención concreta: diseñar un coche eléctrico cuya batería pueda ser rápidamente sustituida. Esta empresa consiguió hace apenas dos años que, en tan solo 3 minutos (menos tiempo de lo que se tarda en rellenar un depósito de gasolina), una estación “electrolinera” pudiese intercambiar una batería vacía de energía por una completamente llena<sup>75</sup>.



Ilustración 38: Intercambiador de Baterías de Ion-Litio de NIO, junto al modelo ES8<sup>76</sup>- Battery Swap Station

Cada una de estas estaciones permite realizar 312 intercambios de baterías al día. Como punto óptimo, tan solo requiere 14 baterías en su interior, pues mientras intercambia baterías, va recargando aquellas descargadas.

El espacio que ocupa es poco mayor al de dos plazas normales de aparcamiento, lo que la hace idónea para ubicarla en los masificados centros de ciudad.

Para usarla, basta con consultar desde la aplicación móvil de la marca el estado de ocupación de las estaciones cercanas y reservar si se desea. Fácil, cómodo y rápido. Pagar es igual de fácil, sin necesidad de salir del VE, a través de la *app*.

Además, presenta la ventaja de no requerir personal *in situ*, pues puede operar de manera autónoma.

Esta marca ha anunciado su llegada a Europa para el año 2022, así como de la llegada de sus intercambiadores de baterías. Aunque comenzará operando en países como Finlandia, en los que el parque automovilístico está prácticamente copado por los VE.

---

<sup>75</sup> Para aquel lector de este estudio que desconociese de la existencia de esta empresa y de su *modus operandi*, se recomienda que pinche en el siguiente enlace para poder visualizar un vídeo (<https://bit.ly/3ki7mOu>)

<sup>76</sup> <https://bit.ly/2WwhalP9>

A pesar de que la empresa no haya decidido disminuir la autonomía de sus VE, el autor de este proyecto presentará más adelante la posibilidad de hacerlo, incurriendo en elevadas reducciones del coste de producción (lo que permitirá un ahorro necesario para el conductor medio). Así mismo, un menor tamaño de la batería implica una reducción del gasto energético durante su uso, de igual manera que una reducción en las materias primas empleadas.

Las ventajas que se le repercuten al usuario por la posibilidad de que las baterías de su VE de ion-litio sean intercambiables en tan solo unos minutos, aparte del precio, se describen por sí solas.

Las ventajas que presentarán aquellas empresas que apuesten por este desarrollo frente a sus competidores a la hora de captar y satisfacer clientes, serán arrolladoras.

Otra empresa que ha apostado por este método de “recarga”, pero en el sector de las motocicletas (posibilidad de intercambiarlas a mano debido a su poco peso) son las compañías *Silence* en Barcelona o aquellas motos de *Sharing*, como puede verse en otras grandes ciudades como Madrid.

De igual manera que NIO, hizo Tesla hace algo menos de tiempo. Sin embargo, decidió dejar en *stand by* esta tecnología, debido principalmente al desarrollo conseguido en sus supercargadores y en sus nuevas baterías 4680.

## SUPERCARGADORES DE TESLA

Tesla, la empresa puntera en el sector automovilístico eléctrico, ha revolucionado la recarga de los VE gracias a sus nuevos *supercargadores*, los *V3 Supercharging*, capaces de entregar hasta 250 kW de potencia.

Estas estaciones de gran velocidad de recarga comenzaron a operar hace más de un lustro, pero ha sido con el paso del tiempo y el desarrollo de su tecnología cuando han conseguido mejores versiones, con mayor potencia de recarga.

Desde hace casi un año, esta tecnología está presente en nuestro país, pudiéndose encontrar en más de 30 *electrolineras* actualmente. Cifra bastante baja comparada con los más de 165 000 kilómetros de carreteras que hay en nuestro país. Sin embargo, ya han anunciado la apertura de más de 100 nuevas estaciones en el próximo año.

A fecha de agosto de 2021, el precio de venta del kWh en nuestro país es de 0,31€. Sin embargo, se espera que estos precios varían con la entrada de un gran cambio: permisibilidad de recarga para VE de cualquier marca para el próximo año. Hasta el momento, estos supercargadores solo eran compatibles con VE de Tesla.

Por suerte, en Europa, se goza de una gran estandarización respecto a los conectores empleados para la recarga de los VE, siendo el modelo CCS (Combo 2) el más común. En países como EE. UU. Esta disputa está a la orden del día.

El inconveniente principal que conlleva para los usuarios de VE esta supuesta carga superrápida, es el hecho de que las baterías de la mayoría de los VE en circulación no están capacitadas para tolerar esta potencia de recarga, por lo que tienen que usar una potencia bastante menor (el Renault Zoe, por ejemplo, acepta 80 kW).

El problema principal que presentan estos supercargadores para el sistema eléctrico nacional va unido de la mano con su propia definición: la carga superrápida de VE a 250 kW de potencia puede tener complicaciones a la hora de instalarlas a gran escala, debido a los picos de demanda eléctrica puntuales. No obstante, esto es un problema que debería tener fácil solución, una vez se hayan desarrollado e introducido en la red eléctrica sistemas de almacenamiento energético que permitan disponer de una gran cantidad de energía acumulada *in situ*.

Como dato extra, es de interés mencionar que la recarga de las baterías de ion-litio de los VE (al igual que la de los teléfonos móviles) presenta una curva de logarítmica; *i.e.*, al principio carga muy rápido, pero luego va ralentizándose.

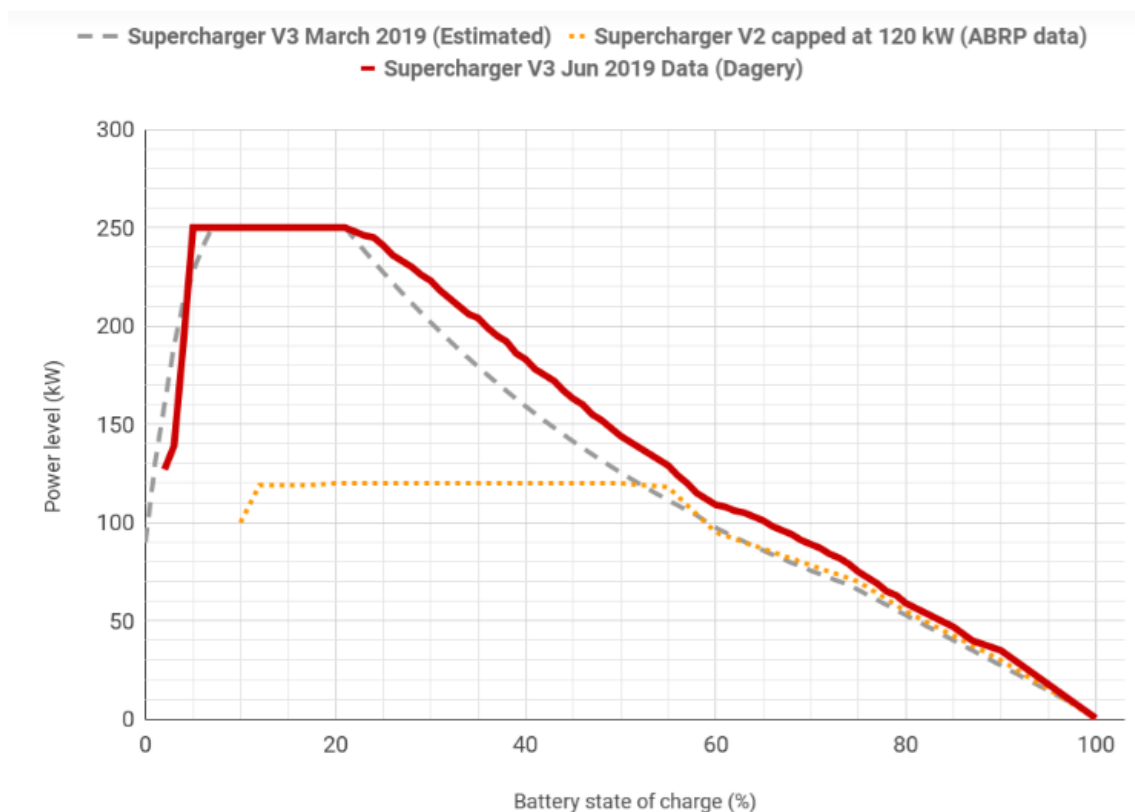


Ilustración 39: Potencia de Recarga (kW) vs batería cargada (%) – Tesla Model 3 LR

Al igual que ocurría con las estaciones de baterías intercambiables, para usar estos supercargadores se requiere de una aplicación móvil para pagar. Además, se puede programar la ruta para que el coche vaya precalentando la batería desde 20 minutos antes de la llegada a la estación, para ahorrar tiempo de recarga.

## OTROS FACTORES DETERMINANTES DE LA FUTURA MOVILIDAD ELÉCTRICA

A la hora de diseñar el futuro parque de la movilidad urbana e interurbana, se hace necesario atender a otras tendencias que influirán notablemente la manera en la que se mueve la población:

- **Aumento de la población urbana**

Mientras el Gobierno de España sigue preocupado por la despoblación de las zonas rurales, ciudades como Madrid y Barcelona no dejan de crecer, debido principalmente a la fuga de cerebros que otras ciudades de menor tamaño están sufriendo.

Esto es debido principalmente a la brecha salarial e igualdad de oportunidades existentes entre estos tipos de ciudades. A pesar de que el coste de vida en estas grandes ciudades sea mucho mayor al de las pequeñas ciudades (y por supuesto pueblos), también son mucho más elevados los salarios pagados.

Este aumento en los ingresos, unidos a la mayor posibilidad de encontrar trabajo, provocará en la movilidad de estas grandes ciudades mucha mayor congestión del tráfico, lo que acarreará a su vez una escasez de espacio de estacionamiento.

- **Restricciones urbanas de vehículos contaminantes**

Según la CE, todos los países miembros deben presentar planes para mejorar la calidad del aire de las ciudades en los próximos años. Esto acelerará la compra de VE, los cuales serán los únicos que podrán acceder a los núcleos urbanos el próximo lustro.

- **Teletrabajo**

Todo apunta a que el teletrabajo ha venido a España para quedarse. Con un elevado porcentaje de la población trabajadora contento con esta nueva modalidad de trabajo, es de esperar que, en cierta medida, se mantenga un porcentaje de los días laborales en formato remoto (aquellos que puedan).

Así mismo, el autor recomienda encarecidamente a aquellas empresas cuyos trabajadores tengan plena capacidad de desempeñar sus mismas funciones de manera remota, que se les permita hacerlo siempre que lo deseen (siempre que no interfiera en la calidad de su trabajo o que eviten las sinergias provocadas como consecuencia del *face-to-face*).

Este factor, permitiría luchar contra la despoblación de zonas rurales, así como la emancipación de aquellos estudiantes hacia pueblos y pequeñas ciudades, en los que la vivienda es realmente barata comparada con las grandes urbes).

Esta solución a la despoblación se espera que vaya acompañada de una mayor inversión en el sector de las telecomunicaciones. Quizá la llegada del 5G y la

proliferación de instalación de nuevas plantas solares fotovoltaicas propicie este fenómeno social.

- **Cambios de preferencia en características de la vivienda**

Con la llegada de la pandemia, los intereses de la población se han orientado hacia la residencia en hogares más espaciosos, especialmente hacia aquellos hogares que gocen de espacios al aire libre, como jardines o terrazas.

Estas preferencias se han visto acentuadas en aquellos trabajadores a los que se les ha permitido el teletrabajo, pues tienen la posibilidad de tener que desplazarse con menor frecuencia hacia sus respectivas oficinas.

Los comportamientos que ya se han comenzado a notar, y que se espera que se acentúen en los próximos años, se basan en la despoblación de núcleos urbanos, con hogares más pequeños, pero más cerca del punto de trabajo, hacia viviendas más grandes, pero más alejadas de dichos establecimientos.

El usuario medio está dispuesto a invertir un mayor tiempo en sus desplazamientos, debido a que tendrán que realizarlos, probablemente, con menor asiduidad.

- **Aumento de los pedidos a domicilio**

El comercio digital ha aumentado exponencialmente en los últimos años, provocando que cada vez se hagan más pedidos online, tanto de productos foráneos como de perecederos que se encuentran a un par de manzanas.

- **Cambios en los comportamientos de la población**

La pandemia ha provocado cambios en las rutinas e intereses de la población (más planes desde casa, menos viajes, etc.). Habrá que esperar para ver cómo repercute en la movilidad, aunque se espera cierto decremento de ella.

- **Big Data**

El aumento de la recogida de datos y las mejoras en elaboración de algoritmos que permitan establecer patrones están permitiendo extraer conocimiento sobre cómo nos movemos. Así, este avance puede emplearse para crear soluciones que hagan más eficientes la movilidad.



## INGENIERÍA DE VALOR PARA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

El siguiente apartado pretende exponer los distintos posibles escenarios que puede presentar la movilidad eléctrica en las próximas décadas. El autor de este estudio, con el conocimiento adquirido gracias a la recopilación de información, la evaluación de las tecnologías existentes y el entendimiento del reto que supone la transición energética hacia la movilidad eléctrica, evaluará las ventajas e inconvenientes que supone cada posible escenario.

Como consecuencia de este análisis, se deberá desembocar de manera natural en aquel escenario que presente mayores oportunidades para las empresas automovilísticas y energéticas, creando sinergias entre ambos sectores industriales. De igual modo, el estudio investigará cómo minimizar los riesgos económicos, tanto para los inversores, como para los distintos organismos gubernamentales.

Por supuesto, se buscará maximizar la comodidad de los usuarios, así sea en el mayor pragmatismo del panorama definitivo como en el menor desembolso económico; a la par que se lucha por conseguir el menor impacto medioambiental de esta transición energética.

### ESCENARIO 1: LA IMPOSICIÓN DEL LITIO Y LA TIRANÍA DE LOS PUNTOS DE RECARGA

La movilidad eléctrica en España está siguiendo este camino, a fecha de agosto de 2021. Un panorama nacional en el que, despreciando la docena de VE con pila de combustible que circulan por nuestras carreteras, la movilidad eléctrica se basa en VE con baterías de ion-litio.

Para la recarga de estos VE, la inmensa mayoría de los actuales usuarios cuentan con un PR en su propia vivienda, ya sea en garaje particular o en garaje residencial.

Esto es una ventaja para aquellos que lo tienen, porque permite que la batería del VE aporte energía a la propia vivienda en aquellos momentos de la jornada en la que el precio de la *luz* es más caro.

Otra ventaja que puede presentarse se da en el caso en el que el propietario tenga instalada unas placas solares fotovoltaicas en su vivienda, pues podría usar dicha batería como acumulador de energía detrás del contador, evitando la redundante necesidad (opcional) de tener una batería de almacenamiento extra que le permita mejorar la rentabilidad de dicha instalación.

Además, algunos gozan de la capacidad de tener un PR en su lugar de trabajo, lo que les facilita aún más la disponibilidad de plena carga en todo momento. Además, esto

permitiría ceder energía a dichas instalaciones de la empresa durante las horas pico de demanda eléctrica, abaratando los gastos energéticos de la compañía, lo cual podría ser repercutido con una disminución en el precio de recarga en dichos puntos.

Sin embargo, tanto a día de hoy, en el que hay limitados puntos de recarga en nuestras carreteras, como en el *dead line* de 2050, los usuarios tendrán que sufrir unos tiempos de recarga en carretera que, aun siendo fácilmente sufribles acompañando la parada con un almuerzo, supondrán un gran incordio en aquellas ocasiones en las que no se disponga del tiempo necesario para la parada.

Del mismo modo, cuando el parque automovilístico total este copado de VE, no será fácil encontrar una plaza de aparcamiento público al aire libre dotado de esta infraestructura cerca del lugar de destino. Del mismo modo, ocurrirá con aquellos usuarios que no posean un PR privado en su lugar de residencia, resignándose a caminar los minutos que sean necesarios desde dicha plaza de aparcamiento hasta la puerta de su edificio.

Se entrará entonces en un círculo vicioso en el que la única solución viable será sobredimensionar exponencialmente la red de PRs, con los consecuentes derroches de materias primas necesarios, contando con el aumento de la red de distribución urbana necesaria para sofocar dicho aumento de potencia demandada.

Esto puede ser un peligro para las empresas, las cuales verán reducidos sus ingresos debido al gasto innecesario en estructura como coste fijo. Es importante que a medida que sigan apareciendo usuarios de VE, estos estén satisfechos con las posibilidades existentes de recarga, pues serán los encargados de incentivar a otros potenciales usuarios en la compra de sus futuros VE.

Además, la dificultad de recarga hace creer al usuario (como ocurre actualmente), que el factor relevante a la hora de comprar un VE es la autonomía de la batería, cuando realmente este aumento de autonomía va ligado a un sobredimensionamiento de la batería, con el correspondiente daño medioambiental generado por el gasto innecesario de materias primas para la fabricación de las baterías; y, por supuesto, del sobrecoste a pagar por el automóvil (otra de las rémoras localizadas a la hora de hacer la transición hacia los VE por parte de los usuarios).

### **Situación Adversa nº 1: Congestión en las Carreteras**

Respecto a las paradas interurbanas antes mencionadas, la disponibilidad de una estación que cuente con puntos de recarga disponible estará garantizada en condiciones habituales de poca congestión en carretera. Sin embargo, a lo largo del ciclo anual, se producen numerosos *outlayers*, difíciles de prever o cuya resolución no es rentable a las distribuidoras de energía.

Este es el recurrente caso de las carreteras de salida de la capital española los fines de semana, las cuales se plagan de coches. Aquí se nos presenta, sin ni siquiera haber transcurrido una semana del ciclo anual, el primer inconveniente.

Puede uno pensar que es un problema fácilmente predecible, que lo es, de igual manera que se puede llegar al razonamiento consecuente de este fenómeno social una vez transcurrido el fin de semana. Todos aquellos que emigraron hacia sus segundas residencias, muchas de las cuales se encuentran en pequeños pueblos, pueden no tener o no querer afrontar el gasto de la instalación de un segundo punto de recarga.

He aquí donde aparece el verdadero problema, cuando estos usuarios vuelven a entrar el domingo por la noche a la capital sin disponer de la batería suficientemente recargada y los atascos de entrada infestan las estaciones de recarga. Esto hará al usuario del VE que decida pagar, a su pesar, la instalación de un segundo punto de recarga en la segunda residencia, la cual puede visitar con poca frecuencia.

Es el motivo económico el primero que puede hacer empatizar al lector de este informe, pero el que realmente intenta plantear el autor es el derroche de recursos necesarios para sobredimensionar la red de tal manera que pueda dar abasto ante este tipo de contingencias habituales.

### **Situación Adversa nº 2: Concentraciones Masivas**

De una manera semejante a la explicada en el primer caso, puede ocurrir cuando este tipo de familias invadan dichos pueblos debido a las festividades típicas, en las cuales estas pequeñas localidades pueden llegar a triplicar fácilmente su población.

Dicho pueblo no cuenta con la infraestructura necesaria como para proveer de energía a todos aquellos viajeros que han visitado la zona, siéndoles imposible la recarga y pudiendo generarles grandes problemas y retrasos para la vuelta.

De igual manera puede ocurrir en concentraciones como eventos deportivos o concentraciones turísticas, como ir a esquiar a la montaña o ir a la playa.

### **OTROS PROBLEMAS ENCONTRADOS**

Aparte de los inconvenientes ya mencionados, pueden surgir otro problema más costoso y laborioso de corregir: la red eléctrica puede no ser capaz de distribuir una potencia determinada, requiriendo de una costosa ampliación.

Además, estas expansiones pueden ser difíciles de implementar en centros de ciudades, pueblos de montaña, sistemas insulares, etc.

Por último, si se quisiera estandarizar el uso de puntos de recarga ultrarrápidos, como ya está haciendo Tesla y como pretenden hacer empresas como Iberdrola, se incurriría

en la necesidad de aumentar de manera indiscriminada la potencia admisible por las baterías, repercutiendo en un aumento del precio de venta al comprador.

## **RIESGOS E INCONVENIENTES**

- Derroche de inversión y materiales provocado por el sobredimensionamiento de la red de PRs
- Gasto innecesario de materias primas para la construcción de las baterías, con su correspondiente aumento del coste de producción y la disminución en la intención de compra de los potenciales usuarios
- Gran inversión necesaria para la mejora de la infraestructura de la red eléctrica de distribución
- Incapacidad del sistema de recarga para responder ante grandes acumulaciones puntuales de VE
- Falta de sinergias entre el sector automovilístico y el energético
- Dificultad de conseguir una segunda vida a las baterías de litio
- Dificultad de anticipación ante aumentos puntuales en la demanda eléctrica
- Necesidad de aumento de la potencia de las baterías para admitir la recarga superrápida
- Falta de satisfacción del usuario debida a la incomodidad de la recarga, repercutiendo en un retraso de la transición energética en la movilidad

## **VENTAJAS Y OPORTUNIDADES**

- Mejora las condiciones para el autoconsumo

## CONCLUSIONES

1. Se confirma la necesidad de que los VE permitan la recarga mediante PRs en el domicilio y en el punto de trabajo, pues beneficia a la red y al consumidor
2. Se percibe la necesidad de implementar sistemas de almacenamiento a mediana escala que permitan suplir crecimientos puntuales de demanda
3. Se localizan dificultades operativas y medioambientales a la hora de reciclar las baterías de litio
4. Se percibe un nicho de mercado en sistemas de almacenamiento energético móviles, que permitan ser cómodamente desplazados varios cientos de kilómetros hasta ubicaciones que variarán en el tiempo

## ESCENARIO 2: LA SOBERANÍA DE LAS BATERÍAS INTERCAMBIABLES

Este escenario se basa en el desarrollo masivo de la tecnología basada en el intercambio de baterías de ion-litio, impulsada por empresas como NIO, tal y como se explica en el apartado NIO: BATERÍAS DE ION-LITIO INTERCAMBIABLES.

Esta tecnología tan disruptiva presenta mejoras respecto a la satisfacción de ciertas necesidades del usuario, como la rápida “recarga” de la batería; sin embargo, presenta un déficit de prestaciones respecto al *statu quo*, pues los PRs presentan numerosas ventajas frente al autoconsumo en los hogares y en las empresas.

Además, presenta otra serie de desventajas para el sistema eléctrico, como la dificultad de aplanar la curva de demanda, despejando un gran porcentaje de la demanda nocturna de energía que suponen la máxima tenencia posible de PRs en el hogar. Del mismo modo que, si se hacen innecesarias las instalaciones en empresas y aparcamientos privados, se evitan posibles sinergias entre la transición energética de la red nacional y la movilidad eléctrica.

### **Situación Adversa nº 1: Largas Esperas en las Estaciones de Intercambio de Baterías**

Si el usuario estándar se adapta al intercambio de baterías y lo adopta como método principal de “recarga”, se acabará produciendo un efecto adverso al esperado, que es ahorrar tiempo en este necesario proceso de abastecimiento energético.

En aquellas situaciones en las que se produzcan masificaciones en carreteras, los tiempos de espera podría ser eternos.

## **RIESGOS E INCONVENIENTES**

- Se eliminan las posibles sinergias del VE y la red si se convierte en el método principal de “recarga”
- Se elimina la posibilidad de favorecer el autoconsumo
- Elevados costes y tiempos de instalación a nivel nacional, así como derroche de materias primas necesarias para sus multitudinarias construcciones
- Requiere que cada empresa automovilística se dedique a desarrollar esta tecnología
- Incapacidad de hacer frente a grandes concentraciones, pues hasta el momento son fijas al suelo

## **VENTAJAS Y OPORTUNIDADES**

- Solventa las necesidades de recarga del usuario en carretera
- Aporta una solución a las necesidades de intercambio en los núcleos urbanos
- Es posible que un cierto número de baterías puedan ser transportadas en camiones, permitiendo el despliegue de una gran cantidad de energía en pocas horas; para ello, el autor considera que se necesita que se reduzca el peso y tamaño de las baterías en, al menos dos terceras partes

## **CONCLUSIONES**

1. Se concluye que no se debe prescindir de los PRs en hogares, puntos de trabajo y aparcamientos privados
2. Se aprecia la mejora de las prestaciones que aporta este sistema al usuario en numerosas ocasiones, como en carretera y núcleos urbanos
3. La implementación de este sistema en núcleos urbanos puede favorecer a la red si se consigue almacenar y cargar un elevado número de baterías por la noche

4. Para un sistema nacional o europeo que integre esta tecnología de manera óptima, se recomienda a la industria automovilística que estandarice el tamaño de las baterías, de manera que cada una de estas estructuras intercambiadoras de baterías pueda enfrentarse a baterías de diferentes marcas o, al menos, a la inmensa mayoría de baterías de una misma marca

### ESCENARIO 3: EL *BOOM* DEL HIDRÓGENO

En este escenario se plantea el idílico paradigma que supondrían unas mejoras disruptivas en el corto plazo de los sistemas de almacenamiento energético basados en el hidrógeno, concretamente de la pila de combustible de H<sub>2</sub>.

Esta tecnología trae consigo una larga serie de beneficios medioambientales, entre los que se encuentran la facilidad para reciclar los materiales empleados, la baja contaminación derivada de su producción, el reducidísimo peso de estas pilas de combustible y el escueto volumen que ocupan.

Lamentablemente, el inconveniente principal que presentan es la falta de desarrollo a fecha de 2021, pues los rendimientos que presenta este vector energético es de un escaso 60%. Además, los gastos estructurales que permiten su almacenamiento en *hidrolineras* todavía son demasiado elevados para afrontarlos a escala nacional.

La elevada inversión que conlleva su desarrollo, tanto económica como temporal, imposibilita a este sistema a adaptarse en el corto plazo como recurso principal para el enorme reto que tiene que afrontar la movilidad eléctrica si se pretenden cumplir con los plazos preestablecidos para conseguir la transición energética.

No obstante, se ha avanzado enormemente en este campo gracias a las empresas investigadoras de esta tecnología. Afortunadamente, los Estados europeos han prometido fuertes inversiones en este campo, lo que sin duda logrará que se sigan conquistando importantes bastiones de la movilidad en los próximos años.

Si uno vuelca la cabeza y se fija en Japón, país líder del sector, podrá apreciar la condición principal que lo define, es una isla. Una isla con una elevada densidad de población que triplica la de España, lo que facilita enormemente el despliegue de la infraestructura necesaria para operar este vector energético.

Esto es algo alentador para España, pues es un país que cuenta con dos archipiélagos y dos ciudades autónoma fuera de la Península. El autor considera que estas circunstancias pueden convertirlas en escenarios modelo para la implantación y el desarrollo de esta tecnología, a medidas que empresas nacionales sigan consiguiendo avances en el sector.

Además, este vector energético presenta la ventaja de ser tanto útil para la movilidad eléctrica como para el almacenamiento a gran escala, lo cual será vital para permitir el despliegue de las energías renovables en estos sistemas insulares.

Por otra parte, el reducido peso que presentan las pilas de hidrógeno las hace idóneas para abastecer transportes que requieran de una gran cantidad de energía, como los camiones y autobuses, aligerando el peso fijo que tengan que acarrear estos VE.

### **Situación Adversa nº 1:**

Aquellos compradores particulares de VE de pila de hidrógeno en la Península los emplean como segundo coche, no teniendo que hacer frente a la totalidad de los viajes. Esto es porque la red de abastecimiento de este vector energético no está implementada, ni probablemente lo esté suficientemente en la presente década.

Estos usuarios tan forofos de la transición energética habrán apostado al caballo ganador, pero en la carrera equivocada. Será necesario esperar un par de décadas para encontrarse con un panorama peninsular que plante cara a este nuevo paradigma. Hasta entonces, irán apareciendo tímidamente, pero no como vehículo único.

Es importante recordar que, hasta la fecha de julio de 2021, tan solo hay 4 *hidrolineras* en nuestro país, pero son de carácter privado, no accesibles al público.

### **RIESGOS E INCONVENIENTES**

- Es una tecnología muy costosa de implantar a nivel peninsular
- No está lo suficientemente desarrollada todavía

### **VENTAJAS Y OPORTUNIDADES**

- Es el vector energético más limpio, medioambientalmente hablando
- Tiene una gran densidad energética, lo que permite almacenar una gran cantidad de energía en un espacio y peso muy reducidos
- Permite ser almacenado fácilmente a gran escala
- Permite ser transportado fácilmente, comparado con otras tecnologías



## CONCLUSIONES

1. La pila de combustible no está todavía preparada para introducirse en los VE particulares españoles
2. Tiene una gran capacidad para apoyar a la integración de las renovables, a la par que para servir a la movilidad eléctrica de sistemas insulares y ciudades autónomas, por lo que comenzará a desarrollarse y probablemente triunfará en estos pequeños escenarios antes de que acabe la década
3. Tiene un futuro muy prometedor en el abastecimiento de grandes vehículos, como camiones y autobuses; siendo probablemente los segundos en los que primero se comience a implementar (autobuses urbanos e interurbanos que sigan rutas fijas)
4. Aunque actualmente no sea útil para los usuarios la compra de estos coches, probablemente servirá para servir como vector energético de estaciones de recarga de baterías de ion-litio que requieran aumentos de consumo puntuales

## ESCENARIO ARQUETIPO: LA SIMBIOSIS DE MUTUALISMO ENTRE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA RENOVABLE. LA INDUSTRIA ELECTROMOVILÍSTICA

En este escenario final, se explicarán las sinergias creadas entre la movilidad eléctrica rodada y el sistema eléctrico continental tras las próximas tres décadas de evolución.

Previamente a profundizar en el funcionamiento de esta nueva versión mejorada de la mayor máquina jamás diseñada por el ser humano, que es el sistema eléctrico, corresponde elaborar una síntesis sobre lo que será el diseño global de este proyecto de ingeniería de valor:

## SÍNTESIS

Los puntos de recarga fijos seguirán conformando el grueso de las recargas de los VE. Deberá de haber puntos de recarga repartidos por todo el sistema eléctrico nacional, especialmente en las viviendas, permitiendo la recarga en las horas nocturnas y el

almacenamiento excedente de las instalaciones de autoconsumo, si las hubiera. De igual manera, serán imprescindibles en los aparcamientos empleados durante el horario laboral, para que puedan abastecer a las instalaciones correspondientes de energía durante los periodos de mayor demanda.

Por otra parte, las recargas de los VE fuera de estos emplazamientos se llevarán a cabo tanto en aparcamientos privados (centros comerciales) como en la vía pública. Estos últimos no deben aglomerarse, sino que deben estar repartidos de manera que puedan encontrarse en todas las calles. Cumplirán la misma función que los del párrafo anterior.

En carretera, será necesario que se encuentren en puntos de paradas apropiados para ello; por ejemplo, en antiguas gasolineras que estén acompañadas por servicios de cafetería. Puesto que es posible que muchas de ellas no gocen de las conexiones pertinentes para recibir el caudal energético necesario, proliferarán las instalaciones renovables de placas solares fotovoltaicas, que permitan acercar la generación al consumo. Asimismo, se recomienda la integración de instalaciones intercambiadoras de baterías para aprovechar y almacenar la energía excedentaria recolectada, proveyendo a aquellos usuarios que no estén dispuestos a alargar su parada.

Estos intercambiadores de batería deberán trabajar con muchos modelos de baterías, por lo que será necesario que las diferentes empresas del sector automovilístico se agrupen entre ellas para estandarizarlas, de manera que una misma estación esté capacitada para intercambiar baterías procedentes de distintas marcas de coche.

Este mismo sistema será requerido en los núcleos urbanos, pudiéndose almacenar un elevado número de baterías bajo tierra, emulando el sistema actual de gasolineras cuyo depósito se encuentra bajo tierra. Esto permitirá aquellas recargas que se necesiten de manera inmediata, a la par que ofertarán diferentes precios en el intercambio de las baterías en función de la hora del día, para así incentivar a los usuarios de VE a aplanar la curva de demanda.

Cabe recordar que la distancia media recorrida por los conductores en España es de unos 40 km al día, lo que significa que no se necesitan enormes baterías capaces de aguantar autonomías de 800 km, como pretenden algunas empresas, simplemente una red apropiada de recarga/intercambio de batería.

Respecto a los autobuses y camiones, se espera que en el medio plazo se produzcan avances en el desarrollo de las pilas de hidrógeno, aumentando la eficiencia provocada por la reducción de peso y la rapidez de recarga que caracteriza a este vector energético; no obstante, un sistema de baterías intercambiables de ion-litio mientras el hidrógeno termina de evolucionar sería un buen parche, o simplemente una recarga estándar, de elevada potencia a poder ser, como ya hacen algunos autobuses urbanos de Madrid y otras ciudades.

Por otra parte, se espera que el hidrógeno verde juegue un papel fundamental en el medio plazo para transportar grandes cantidades de energía allá donde sea requerida.

Una vez realizada esta síntesis, puede procederse a la profundización de las ventajas que presenta cada elemento. Para ello, se explicarán las funcionalidades que desempeñarán en la movilidad eléctrica y cómo su servicio puede ser integrado a la red para servir de utilidad en los momentos más necesarios:

#### PUNTOS DE RECARGA FIJOS

Los puntos de recarga fijos seguirán conformando el grueso de las recargas de los VE. Permitirán la conexión directa de las baterías de ion-litio integradas en los coches con la red eléctrica de la instalación pertinente.

Esta ventaja jugará un papel clave en el autoconsumo residencial, permitiendo contar a las viviendas que gocen de placas solares fotovoltaicas con una batería de almacenamiento detrás del contador, almacenando así la energía excedentaria producidas en las horas de máxima generación solar.

Aunque la ventaja principal que aportarán los PRs residenciales a la red eléctrica seguirá siendo la posibilidad de ser recargados durante las horas valle de manda eléctrica, durante las horas nocturnas.

Por tanto, se requiere a la industria automovilística que siga esforzándose por aumentar los ciclos de vida de las baterías, fundamental para permitir cierta carga y descarga intradiaria de estas baterías de ion-litio.

Por otra parte, la presencia de estos puntos de recarga deberá intensificarse en aquellos aparcamientos que se caractericen por una rutina de uso, como son los aparcamientos asociados a empresas, en los que los usuarios de VE aparcan de manera regular durante las horas de día, pudiendo aprovechar de nuevo la capacidad de estas baterías para ser descargadas durante las horas de máxima demanda eléctrica, fomentando que se reduzca el consumo en las horas punta de la curva de demanda.

De igual modo, la ocupación de un porcentaje de los aparcamientos privados vinculados con espacios recreativos (centros comerciales, estadios, etc.) será de gran interés tanto para los usuarios de estos VE como para la empresa acogedora.

En carretera, seguirán ocupando la mayoría de las recargas de los VE, siendo instaladas estas estaciones de recarga junto a cafeterías que permitan a los usuarios descansar plácidamente mientras tanto. Dentro de una misma estación, puede ser de interés que se encuentren PRs con diferentes potencias instaladas, en función del tiempo de espera que deseen pasar los usuarios en dichas instalaciones.

Deberán desarrollarse una red de PRs en la vía pública que permitan abastecer durante las horas nocturnas a aquellos usuarios que carezcan de garaje privado, así como al resto de usuarios que hagan disfrute de las mismas durante las horas de sol.

En cierto modo, será muy útil que los usuarios que dejen sus VE en la vía pública durante las horas de sol conectados a estos PRs tengan la posibilidad de descargar un porcentaje de sus baterías para abastecer a los edificios residenciales adyacentes en las horas de máxima demanda energética, como harán aquellos que se encuentren en instalaciones privadas.

Es menester recordar que el consumo aumentará drásticamente durante las próximas décadas, siendo fundamental generar estas sinergias entre los VE y los consumos residenciales para aplanar lo máximo posible la curva de demanda

### *BIG DATA E INTERNET OF THINGS PARA LA MOVILIDAD ELÉCTRICA*

Como ha podido leerse en el punto anterior, los VE estarán sometidos a la continua carga y descarga de sus baterías, tanto en sus plazas de aparcamiento habituales como en otras aleatorias en manos del caprichoso juicio del consumidor.

Será fundamental, por tanto, que se sigan desarrollando estas tecnologías informáticas y computacionales para aplicarse a gran escala a la red de PRs y VE. Se deberá ser capaz de recopilar datos procedentes de millones de PRs a lo ancho de la Península, de igual manera que acabará implantándose el IoT en los VE, permitiendo a la red eléctrica saber qué porcentajes de carga tienen los VE de cada zona, pudiendo así prever cuándo se llevará a cabo un aumento de las recargas y en qué regiones.

Por tanto, estaremos en un caótico pero ordenado escenario en el que los datos de los estados de carga de los VE en movimiento y no conectados, así como los enganchados a la red particular o a las estaciones de servicio, serán procesados continuamente, evitando que se produzcan faltas de suministro puntuales y localizadas.

### *ESTACIONES INTERCAMBIADORAS DE BATERÍAS*

Por otra parte, como se ha mencionado en la síntesis, esta tecnología ya plenamente desarrollada por empresas como NIO y Tesla, y en proceso de mejora, por Honda y otras empresas del sector automovilístico, presenta numerosas ventajas, tanto para el usuario como para el almacenamiento energético de la red eléctrica.

Estas estaciones, capaces de extraer una batería descargada del VE e introducir una a plena carga en menos de 3 minutos, serán fundamentales para satisfacer los caprichosos requerimientos de los usuarios.

Así, en las estaciones de carretera, jugarán un papel fundamental, permitiendo el intercambio de la batería para aquellos usuarios que no dispongan de tiempo para parar a repostar.

En estas estaciones interurbanas, que jugarán un papel clave para el almacenamiento energético a pequeña escala, podrán ser fácilmente ampliables (si se localiza la necesidad) gracias a las aplicaciones del *Big Data* en la movilidad eléctrica. Estas ampliaciones puntuales podrán llevarse a cabo transportando en un camión un número de baterías previamente cargadas, si fuese necesario.

Este funcionamiento puede recordar al actual método seguido por las gasolineras tradicionales, las cuales se proveen de combustible a través de grandes camiones que rellenan los depósitos, que se encuentran bajo tierra. Las compañías encargadas de la gestión de estas gasolineras han conseguido desarrollar un modelo basado en la experiencia que les permite anticiparse ante la demanda de los usuarios.

Esta adaptación a los caprichos del usuario será mucho más fácilmente predecible con VE interconectados y el desarrollo del *software* apropiado, gracias al tremendo avance que han sufrido estas tecnologías durante los últimos años.

Por otra parte, se espera que las estaciones de intercambio de baterías urbanas aporten la seguridad y la comodidad necesaria al usuario del VE. Esta confianza será fundamental para alentar a los potenciales compradores de VE a decidirse por fin a dar el salto hacia la movilidad sostenible.

Como no, jugarán un papel clave en el almacenamiento energético a mediana escala dentro de las ciudades, pudiendo almacenar un depósito de baterías debajo de las estaciones (como las gasolineras actuales, cuyos emplazamientos, por cierto, serán idóneos para llevar esta transición).

Además, estrategias de la nueva industria electromovilística, como la variación de los precios de estos intercambios de baterías, alentarán al usuario del VE a contribuir a los intereses del sistema eléctrico. Por ejemplo, puesto que por las noches se llevará la recarga de estas baterías en dichas estaciones, puede reducirse el precio del intercambio de batería en las horas nocturnas o previas a ellas.

## EL *BLOCKCHAIN* EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA Y LAS BATERÍAS DE ALQUILER

El cambio de paradigma principal que representará la existencia de estos intercambiadores de baterías será el hecho de que la batería del coche eléctrico ya no será propiedad del usuario, sino que será propiedad de la red electromovilística.

Esta tendencia ya comenzó hace años a expandirse dentro de los usuarios de VE, a los cuales se les ofertaba a la hora de comprar un VE la posibilidad de que la batería fuese

alquilada. De esta manera, si se produce un decremento del rendimiento de la batería, típicamente del 85%, ya sea por su elevado o incorrecto uso, la compañía automovilística se compromete a cambiarle la batería del VE al usuario sin sobrecoste.

Este método de compra del vehículo acompañado por el alquiler de la batería está aumentando actualmente, pues aporta una gran seguridad al comprador, que ha sido informado previamente del elevado coste que supone la sustitución de una batería vieja por una nueva.

La empresa automovilística tiene la confianza de llevar a cabo este trato con el comprador gracias a la seguridad que tiene en la estabilidad del rendimiento y los elevados ciclos de vida que presenta la batería, salvo algún caso particular en el que la batería salga defectuosa, en cuyo caso será justa e igualmente necesaria dicha sustitución por parte de la empresa fabricante.

En definitiva, el panorama que se avecina de baterías de alquiler, impulsado también en gran medida por la posibilidad de ser intercambiadas en las estaciones pertinentes, requerirá de un seguimiento específico por toda la red, siendo necesario saber cuándo y dónde se realizó el intercambio, para poder así localizar el error dentro de toda la red electromovilística. Por ejemplo, si hubiese un punto de recarga concreto de una estación interurbana que tendiese a provocar fallos en la batería por sobretensión, gracias al *Blockchain* y al *Big Data*, podría localizarse fácilmente.

#### LA RESURRECCIÓN DEL LITIO: ECONOMÍA CIRCULAR PARA LAS BATERÍAS DE ION-LITIO

En este análisis medioambiental ha quedado demostrado que el beneficio principal, por lo menos desde una perspectiva económica y pragmática, de la estandarización de las baterías de ion-litio reside en la posibilidad de que estas baterías puedan ser fácilmente intercambiadas por las estructuras diseñadas para ello.

Pero, además, el motivo que ha impulsado al autor de este proyecto a defender férreamente esta necesidad de estandarización no es otro más que el beneficio medioambiental que se obtendrá como consecuencia de esta estandarización.

Las baterías de ion-litio de los VE están tendiendo a un peso de unos 600 kg, buscando así obtener una autonomía de unos 750 kilómetros. Esta necesidad surge de la dificultad actual de recarga, la cual, se verá mitigada a medida que se universalicen los VE en el país.

Una vez diseñada e instalada una red nacional de recarga y sustitución de las baterías, los VE podrán permitirse el lujo de reducir sus autonomías a base de reducir su peso. Esto traerá enormes beneficios medioambientales, como consecuencia de una menor necesidad por extraer apresuradamente este litio.

Además, si se estandarizase su diseño para permitir la introducción en España de este intercambio de baterías, se podría crear un sistema de almacenamiento energético basado en el apilamiento de aquellas baterías que han sufrido notables reducciones de su rendimiento en *containers*.

Estos *containers* ya están siendo diseñados en la actualidad, pero empleando para ello litio recién extraído, al cual no se le ha podido dar una vida más digna que esta. Estos almacenes sirven como apoyo para el almacenamiento a mediana escala de los excedentes energéticos generados por instalaciones renovables, especialmente en aquellos puntos que no gozan de una adecuada interconexión.

Gracias a esta segunda vida, se conseguirá aumentar notablemente la vida útil de estas baterías. Además, reusar estas baterías permitirá diseñar de manera mucho menos costosa estos sistemas de apoyo a la red eléctrica, pues una vez se consiga diseñar y construir el primero, se podrá imitar dicho proceso con las millones de baterías de ion-litio de VE que seguirán el mismo recorrido durante las próximas décadas.

Por último, la estandarización de estas baterías, permitiría centrar los esfuerzos de las empresas automovilísticas en la búsqueda de un método común de fabricación que permita la durabilidad de su uso, la facilidad de adaptación para su segundo uso, y, finalmente, reciclar las materias primas que la conforman (litio, níquel, cobalto).

Como dato, *Greenpeace* advierte que, para 2030, unas 12,85 toneladas de litio llegarán al final de su vida útil<sup>77</sup>. Una cifra que se multiplicará por diez hasta el 2035, y que no dejará de crecer exponencialmente en las décadas venideras.

Reducir. Reusar. Reciclar

## EL AUGUE DE LA PILA DE COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO

Si uno avanza la mirada hacia el muy largo plazo, podrá percatarse fácilmente de que el litio, al ser un recurso natural limitado incapaz de ser eliminado sin generar una huella contaminante, podrá razonar que más tarde que temprano, la movilidad y el almacenamiento energético tendrá que dirigirse hacia un idílico escenario de neutralidad de emisiones.

Para ello, será necesario que se desarrolle el que hasta el momento es el vector energético más limpio, el hidrógeno. Para ello, se requerirá de décadas de investigación, innovación y desarrollo, que permita escalar a nivel mundial la producción y uso de este tipo de pilas de combustible de hidrógeno.

---

<sup>77</sup> <https://bit.ly/38aB16A>

Actualmente, el hidrógeno verde ya presenta un rendimiento de almacenamiento cercano al 60%; sin embargo, presenta unos serios problemas de escalabilidad, al no estar plenamente evolucionado.

La movilidad eléctrica basada en las baterías de ion-litio, dirigiendo la transición energética de las dos próximas décadas, permitirá convertir el sistema actual de generación energética y movilidad en un escenario sostenible a largo plazo, al menos, durante el próximo medio siglo.

Este capítulo del litio será necesario ser realizado de manera previa a la masificación del hidrógeno verde, sirviendo de base para el asentamiento de un sistema plenamente sostenible y renovable.

Mientras tanto, la industria del H<sub>2</sub> tendrá que llenarse de conocimiento, como un ingeniero que previamente necesita de la adquisición de un profundo conocimiento y entendimiento de las leyes lógicas para poder aplicarlas en el futuro correspondiente.

Eso sí, este conocimiento no puede basarse únicamente en la investigación, pues requiere de una parte práctica que, mediante prueba y error, le haga mejorar a cada paso que avanza.

Así, en este elaborado estudio se plantea la tímida introducción del hidrógeno en aquellos sistemas idóneos para ello. En la movilidad eléctrica rodada por carretera, estos sistemas son los futuros VE de gran tamaño, especialmente camiones y autobuses.

Como se ha mencionado previamente, estos modos de transporte pesados son ideales para ser implantados un sistema de almacenamiento energético lo más ligero posible: la pila de combustible de hidrógeno.

Por otra parte, en lo que concierne a los turismos, se ha demostrado que, en territorios con una gran densidad de población, la extensión de este tipo de tecnologías puede triunfar, pues se hace más asequible extender la red de suministro a toda la red de carreteras.

Este es el caso de Japón, precursor inicial de esta tecnología. En este país, la pila de combustible de hidrógeno se está incluso introduciendo a nivel residencial, motivado en gran parte por la escasez de recursos naturales con los que se cuenta y el poco espacio disponible en los núcleos urbanos.

Por esto, el autor de este estudio motiva la creación de escenarios que permitan probar, desarrollar, implantar y mejorar esta tecnología de la manera más rentable para las empresas y para los usuarios que decidan *subirse al carro*.

Estos escenarios ideales, como ya se dijo en la síntesis, son los sistemas insulares, con pocos kilómetros de carretera y una elevada dificultad (o más bien un sobrecoste) para transportar una ingente cantidad de recursos materiales.

La implementación del hidrógeno como vector energético, especialmente la del hidrógeno verde, procedente del almacenamiento excedentario de las energías



renovables, permitiría hacer frente a las irregularidades estacionales que presentan las energías renovables en estas islas.

Así, islas como Tenerife, Fuerteventura o Mallorca sufrirán en los próximos años una penetración de estas tecnologías, mucho menos tímida de la que se podrá apreciar en el sistema peninsular.

Estos escenarios, de mucha menor extensión territorial que la España peninsular, permitirán abaratar los costes de transportes asociados a esta tecnología, ya sea a través de *hidroductos* o a través de su transporte en furgonetas y camiones.

A continuación, es apropiado adjuntar una tabla que recoge los posibles costes estimados de dicho transporte, elaborada por *BloombergNEF* en su informe “Panorama Económico del Hidrógeno” de marzo de 2020.

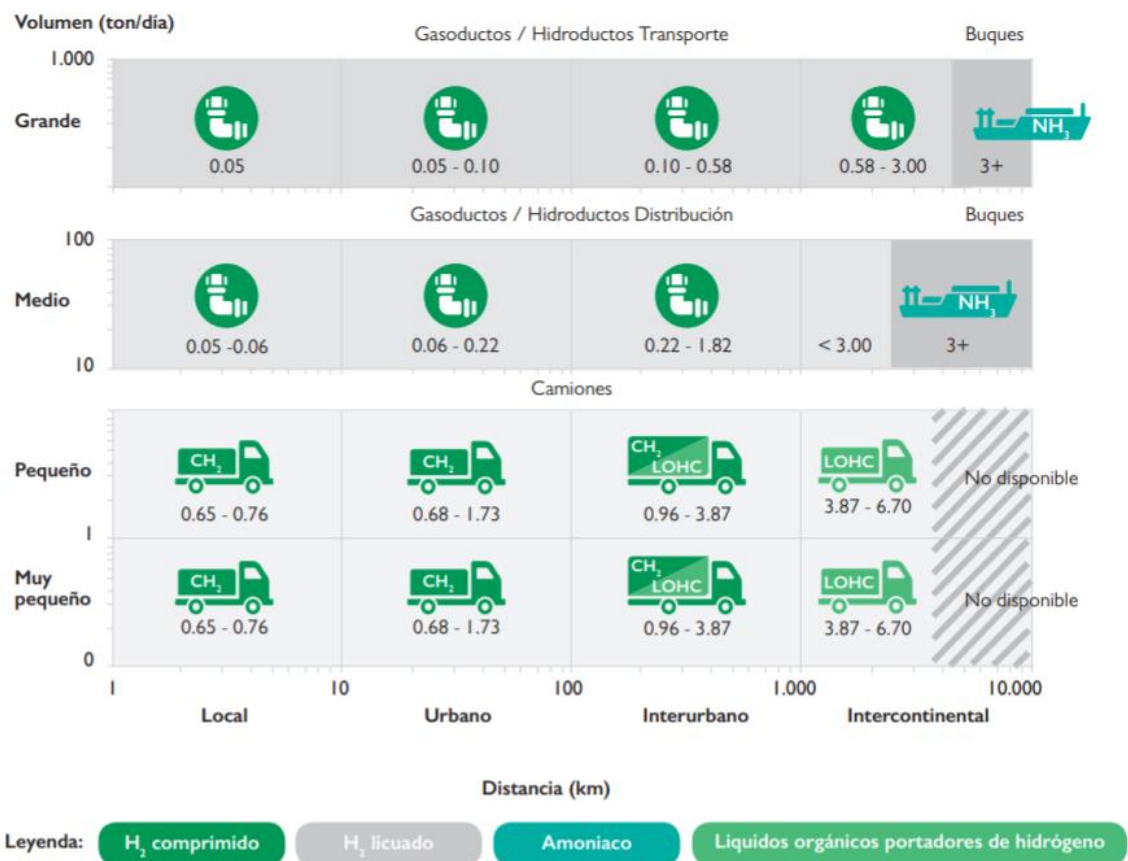


Ilustración 40: Estimación de los Costes de Transporte y Distribución del H<sub>2</sub>, según Volumen y Distancia<sup>78</sup>

<sup>78</sup> <https://bit.ly/3msGo9C>

## 2040: LA GIRA DEL HIDRÓGENO VERDE

El despreciable peso y reducido volumen al que puede ser transportado este elemento, permitirá que, en un futuro nada lejano, se transporten en camiones por carretera depósitos con la energía necesaria para salir al escenario de la movilidad cuando el público lo reclame.

Gracias a la Ilustración 40: Estimación de los Costes de Transporte y Distribución del H<sub>2</sub>, según Volumen y Distancia, recién adjuntada, puede verse la versatilidad que presenta este vector energético para ser transportado, gracias a su elevada densidad energética.

La capacidad de desplazamiento de esta energía permitirá abastecer aquellas zonas más despobladas en las que el tendido eléctrico no pueda soportar la demanda energética prevista, provocada probablemente por aglomeraciones puntuales de VE.

La fecha de 2040, establecida por el autor, se ha basado en una suposición en la que se ha tenido en cuenta el cese de la venta de vehículos de combustión interna en 2035, estos últimos a un precio muy reducido, pues los elevados impuestos gravados por Europa a la circulación de estos vehículos contaminantes, unidos al *stock* restante que ciertas industrias automovilísticas más rezagadas presenten, provocará que en sus dos últimos años de venta la venta de estos VCI se rebajen descabelladamente en los concesionarios, como si de un *outlet* se tratase.

También se han tenido en cuenta las previsiones de venta de *Bloomberg*, que pueden apreciarse en la Ilustración 9: Estimación del Escenario del Transporte a Nivel Mundial, la cual estima para la década del 2030-2040 el máximo aumento de los VE, comparado con el porcentaje existente hasta dicha fecha.

Este hidrógeno comprimido en el tanque de un camión podría ir acompañado de un segundo camión que portase PRs móviles, y de un sistema que capacite la transformación del hidrógeno en energía eléctrica.

No obstante, esto es un tema que la futura industria del hidrógeno se tendrá que plantear si conviene o no.

El objeto de este estudio ha concluido en el pragmatismo que supondrán las baterías de ion-litio en la transición de la movilidad en eléctrica, de cómo se pueden crear sinergias entre la industria automovilística y la energética eléctrica que permitan el almacenamiento de los excedentes renovables, y de cómo reducir el impacto medioambiental del litio, controlando su extracción y facilitando una segunda vida de las baterías.

## EL FUTURO DE LA HIDRÁULICA

En la actualidad y durante los próximos años, la energía hidráulica representa el mejor método de almacenamiento energético en la industria eléctrica. Estas *gigabaterías* sirven de apoyo a la red en los momentos de mayor demanda, pues presentan la ventaja de la versatilidad, pudiendo liberar la energía potencial gravitatoria almacenada para transformarla en eléctrica cuando se desee.

Sin embargo, durante las próximas décadas, el auge de estos nuevos sistemas de almacenamiento energético que son las baterías de los VE permitirá a la red contar con un nuevo agente de apoyo, que a pesar de representar cada batería una capacidad muy escasa, el total del parque automovilístico eléctrico supondrá una potencia mayor a las que presentan hasta el momento las hidráulicas, con el inconveniente de que las baterías eléctricas no tienen la capacidad de servir a la red con carácter estacional, sino únicamente intradiario y, como mucho, diario.

Así, aquellas centrales de bombeo puro, con una capacidad más limitada a las reservas naturales podrán permitirse un servicio de regulación semanal, mientras que aquellas de mayor tamaño tenderán a servir como *comodines* en aquellas épocas del año en las que la aportación de las renovables se reduzca considerablemente.

Por suerte para el Estado, durante la década del 2030-2040 caducarán 45 licencias de explotación de centrales hidroeléctricas, lo que permitirá que se usen con fines sociales y de apoyo al consumidor, o, en este caso, para evitar que entren en juego aquellas centrales basadas en la combustión de combustibles fósiles.

A continuación, se adjunta la Ilustración 41, que incluye una tabla de dichos embalses.

Embalse	Cuenca	CC AA	(hm <sup>3</sup> )	concesión	75 años
Jándula	Guadalquivir	Andalucía	322	1932	2007
Ricobayo	Duero	Castilla y León	1.145	1933	2008
Tranco de Beas	Guadalquivir	Andalucía	498	1944	2019
Ebro	Ebro	Cantabria	541	1945	2020
Alarcón	Júcar	Castilla y León	1.118	1955	2030
Barrios de Luna	Duero	Castilla y León	308	1956	2031
Entrepeñas	Tajo	Castilla y León	835	1956	2031
Cijara	Guadiana	Extremadura	1.505	1956	2031
Buendía	Tajo	Cast.-La Mancha	1.639	1958	2033
Mediano	Ebro	Aragón	435	1959	2034
Yesa	Ebro	Navarra	447	1959	2034
Canelles	Ebro	Aragón	679	1960	2035
Bárcena	Miño-Sil	Castilla y León	341	1960	2035
El Cenajo	Segura	Castilla y León	437	1960	2035
Santa Teresa	Duero	Castilla y León	496	1960	2035
Gabriel y Galán	Tajo	Extremadura	911	1961	2036
García de Sola	Guadiana	Extremadura	554	1962	2037
Bembezar	Guadalquivir	Andalucía	342	1963	2038
Orellana	Guadiana	Extremadura	808	1963	2038

Ilustración 41: Mayores Embalses en España, junto a sus fechas de Reversión<sup>79</sup>

<sup>79</sup> <https://bit.ly/3sGWtcY>

## ALINEACIÓN DEL PROYECTO CON LOS ODS

Gracias a las Naciones Unidas, el 15 de septiembre de 2015, *los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible.*

Se pretende alcanzar estos objetivos para el 2030, para los cuales será necesario el desempeño por parte de los gobiernos, las empresas y el conjunto de la sociedad.

El presente proyecto concuerda con las siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible:



Ilustración 42: Objetivos de Desarrollo Sostenible que persigue este Proyecto

Los motivos con los que se defiende este posicionamiento son:

### 7 – Energía Asequible y No Contaminante

La transición energética permitirá a los usuarios de VE emplear una energía mucho más limpia que los carburantes. En 2020, el 45,5% del origen de la electricidad empleada en España fue de origen renovable. Los usuarios de los VE que cuenten con una instalación de autoconsumo superan este porcentaje.

Se espera que en los próximos años aumente notablemente el porcentaje de energía eléctrica de origen renovable en nuestro país.

### 8 – Trabajo Decente y Crecimiento Económico

Sin duda alguna, el auge de la movilidad eléctrica rodada creará, como ya está creando, numerosos puestos de trabajo en nuestro país, para los cuales se requiere de una cierta cualificación. Este aumento del trabajo permitirá a España crecer económicamente.

### 9 – Industria, Innovación e Infraestructura

El despliegue logístico que está suponiendo la llegada de la movilidad eléctrica está transformando la industria automovilística, invirtiendo sumas económicas descabelladas que permitan crear la innovadora infraestructura necesaria.

### 11 – Ciudades y Comunidades Sostenibles

La fuente de motivación de este proyecto es crear sinergias entre el sector automovilístico y el sector energético, fomentando el autoconsumo y el almacenamiento excedentario de las energías renovables.

La llegada del VE a las ciudades mejorará la calidad del aire.

## 12 – Producción y Consumo Responsables

Una de las motivaciones del presente proyecto es conseguir que se reduzcan las cantidades de materias primas necesarias para la fabricación de las baterías de ion-litio de los VE, así como un enfoque global de la industria automovilística por reusar dichas baterías y facilitar su reciclaje.

## 13 – Acción por el Clima

El triunfo de la energía eléctrica frente a los carburantes reducirá notablemente la huella de carbono generada en el sector del transporte.

Además, el aplanamiento de la curva de demanda eléctrica que provocará la instauración de esta movilidad reducirá la procedencia de la energía eléctrica de fuentes contaminantes.

## 17 – Alianzas para Lograr los Objetivos

Europa ha establecido indicaciones firmes a los Veintisiete para que todos los países se dirijan rumbo a la movilidad sostenible, avisando con antelación que aquellos que no consigan cumplirla tendrán unas sanciones económicas.

Además, el presente proyecto suplica a las empresas pertenecientes al sector automovilístico que unan sus fuerzas para conseguir crear un sistema de baterías estandarizadas que reduzca el impacto medioambiental, del mismo modo que ruega por crear una liga entre dicho sector y el sector energético, para que juntos puedan facilitar en nuestro país la implantación de las renovables.

## ANEXO A: ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN ESPAÑA

Uno de los temas más candentes de la actualidad en España (a julio de 2021) es la volatilidad del precio de la electricidad; habiéndose alcanzado el día 21 de julio de 2021 su máximo histórico hasta la fecha, con un precio medio de 106,57 € por megavatio hora. A continuación, se muestran las gráficas de consumo y precio del OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía – Polo Español) para dicha fecha:

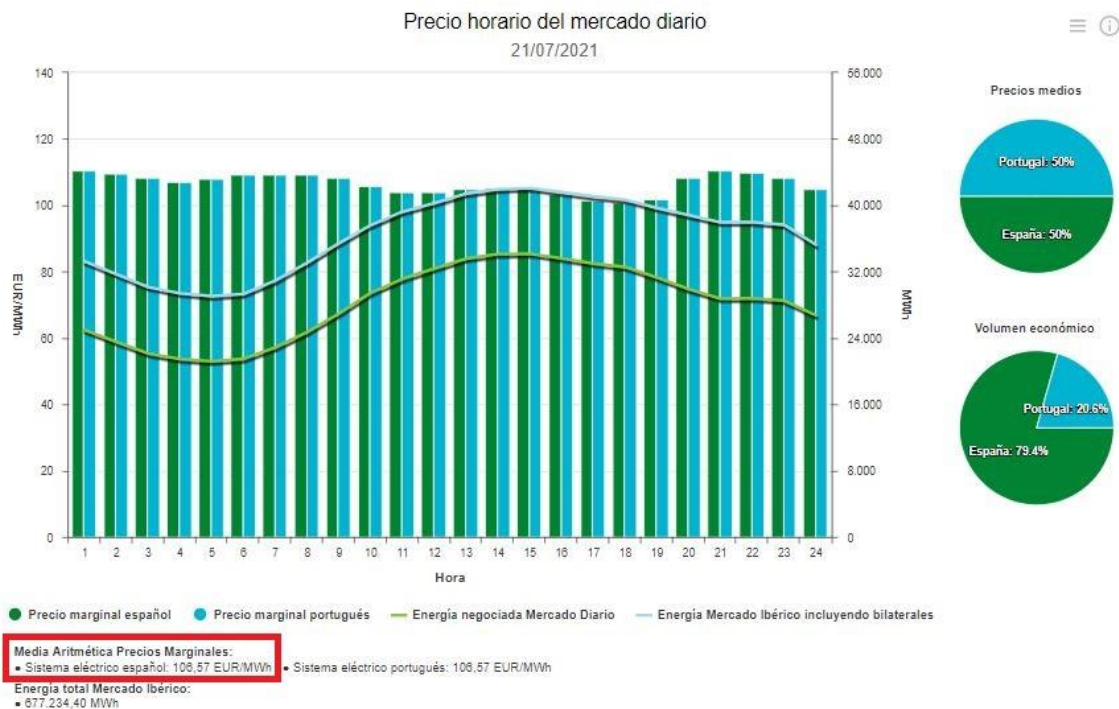


Ilustración 43: Consumo y precio horario del mercado diario de energía eléctrica (OMIE-21/07/2021)

Desgraciadamente para los españoles, esto no es un hecho aislado, sino que es un acontecimiento que se lleva repitiendo con demasiada asiduidad en el último año, especialmente este último mes de julio.

La causa de estos desorbitados precios se debe a diferentes motivos:

- **Encarecimiento de los permisos de emisión de CO<sub>2</sub>**, lo que conlleva la subida del precio de la oferta de energía eléctrica por parte de aquellas centrales contaminantes.
- **Irregularidad en la aportación de las energías renovables al *mix* eléctrico.** En este caso, debido al poco viento existente en la Península Ibérica, la aportación del sector eólico al *mix* se vio drásticamente reducida.

- **Subida en el precio de los combustibles fósiles**, tanto de la gasolina como del gas natural, siendo este segundo el más relevante respecto al tema que aquí concierne, pues sirve de materia prima a una gran parte de las centrales eléctricas de combustión. Como les cuesta más producir un MWh a estas centrales, tienen que venderlo más caro.
- **Aumento temporal del consumo energético**, debido a las altas temperaturas sufridas en la península durante estas fechas.

Estos cuatro motivos han sido los culpables del encarecimiento de la *luz*, siendo únicamente de interés para este proyecto profundizar en los dos primeros:

## ENCARECIMIENTO DE LOS PERMISOS DE EMISIÓN DE CO<sub>2</sub>

En orden con el Acuerdo de París, el cual han firmado 189 países hasta la fecha, se pretende que los países más desarrollados (entre los cuales se encuentran los países europeos) alcancen la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero (Artículo 4.4<sup>80</sup>); aquellos no tan desarrollados, deben acercarse lo máximo posible a esa neutralización. Desde Europa, acorde con este propósito, ya se están tomando medidas que encaminen a alcanzar este objetivo.

Para ello, una de las decisiones que se han acordado ha sido la de desincentivar aquellos métodos de generación eléctrica más contaminantes. Estas centrales son aquellas basadas en la quema de combustibles fósiles, las cuales además se caracterizan por ser aquellas empleadas como apoyo (necesario hasta el momento) en las horas de más alta demanda eléctrica.

Durante estas horas pico (por ejemplo, desde las 12 de la mañana hasta las 3 de la tarde durante las horas de verano) se requiere de una mayor oferta por parte de las centrales eléctricas; y, como rige la lógica del mercado, a mayor demanda, mayor precio de la oferta.

Inciso: para aquellos lectores de este informe que impetren una explicación detallada sobre cómo funciona el mercado de la energía eléctrica en España, se incluye el simplificado

### ANEXO B: EL MERCADO ELÉCTRICO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA.

Esta posibilidad de vender el MWh a un mayor precio permite a aquellas centrales eléctricas con un coste de generación superior al resto, estas centrales de combustibles fósiles a las que hacemos referencia, penetrar violentamente el saco de energía eléctrica

---

<sup>80</sup> <https://bit.ly/3IAEsLW>

que se vende a granel en la avariciosa lonja eléctrica; fijando así un mayor precio a pagar en esas horas por solicitar un pedazo de la susodicha.

El asunto clave de este controvertido asunto reside en la incapacidad que tienen nuestras estimadas renovables de abastecernos hasta la saciedad. Si ellas fueran capaces de saciar la demanda energética total a cualquier hora de la jornada, no se abriría siquiera la veda a la adquisición de energía procedente de esas infestas fuentes.

La desincentivación llevada a cabo ha sido la de aumentar el ya existente impuesto aplicado sobre aquellas industrias contaminantes, a las cuales se les imputa un coste tributario por cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida. Este aumento coloca el precio de dicha emisión en más de 50 € por tonelada de media en lo que va de año.

*Grosso modo*, estas centrales emiten media tonelada de CO<sub>2</sub> por cada MWh generado, lo que significa que, por el mero hecho de quemar el combustible fósil y liberar esos agentes contaminantes, tienen un sobre coste de unos 25€/MWh.

Redondeando los más de 90 €/MWh de media alcanzados en este mes de julio, cabe decir que este impuesto a las centrales contaminantes supone más de una cuarta parte del precio de venta en el mercado eléctrico.

Calculando la media del precio de la tonelada de CO<sub>2</sub> emitida en el 2020<sup>81</sup>, se obtiene un resultado de 24,45 €/tonelada, lo que implica la mitad del valor fijado en los últimos meses<sup>82</sup> (más de 50 €/tonelada).

La pasada década proliferó por los países de Europa, especialmente en España, la incentivación económica pública a la generación eléctrica por medio de las energías renovables, la cual provocó que estas se hicieran su hueco en el *mix* energético antes incluso de empezar a ser rentables.

Hoy en día, esta incentivación sigue existiendo, aunque no en tan desmesurada cuantía como antaño. Por suerte, Europa sigue empujando hacia la implementación de estos sostenibles métodos de generación, a través del plan de recuperación *NextGenerationEU*; así como España, a través del *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*.

A continuación, en la Ilustración 44, se adjunta una gráfica representativa de la subida del precio de estos derechos de emisión de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>81</sup> <https://bit.ly/3ir2yXy>

<sup>82</sup> <https://bit.ly/3fzL4GA>



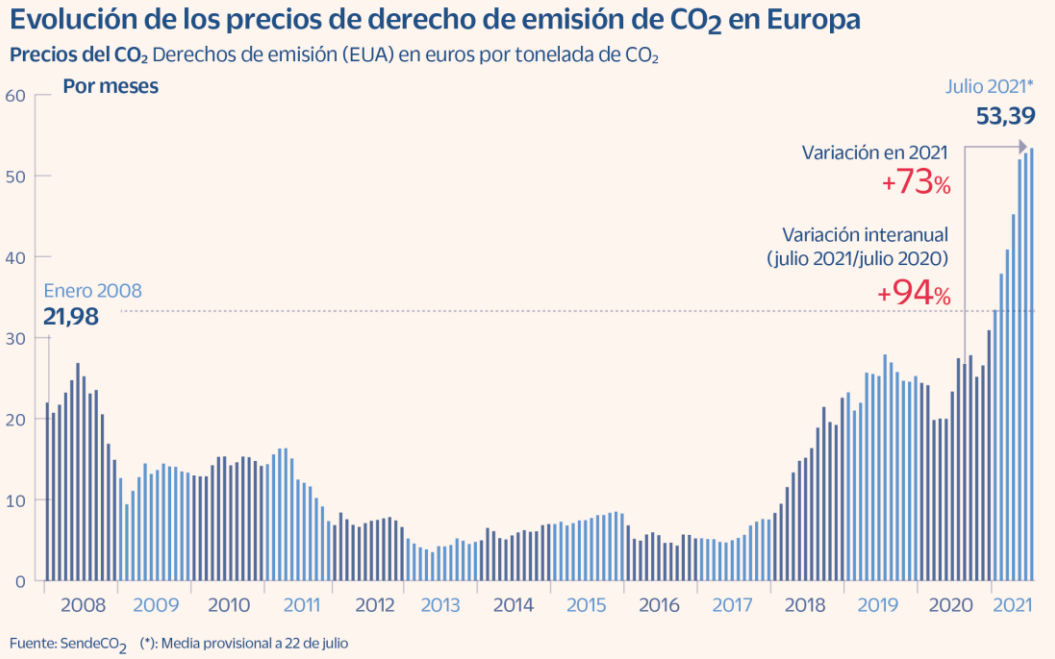


Ilustración 44: "Quién contamina paga" - Encarecimiento en los precios de emisión de CO<sub>2</sub><sup>83</sup>

Analizando la tendencia al alza de esta gráfica, o simplemente usando el sentido común y la conciencia del buen saber hacer por parte de Europa en cuanto a sostenibilidad, puede suponerse que el precio de estos derechos de emisión seguirá subiendo en los próximos años.

Esto tendrá dos consecuencias, o más bien una consecuencia y una repercusión de esta consecuencia:

- El **precio** de la **luz** seguirá **subiendo**: Si aquellas centrales que contaminan, y por tanto tienen que pagar este impuesto, siguen siendo necesarias para contribuir al *mix* energético durante ciertas horas del día, el precio de la *luz* seguirá subiendo. Si a uno le cuesta más producir, uno tiene que subir por igual el precio de venta del producto para seguir percibiendo el mismo beneficio por unidad vendida.
- La generación **renovable** seguirá **augmentando** contundentemente: Debido a que el precio de venta del MWh lo fija la oferta más cara, mientras sigan formando parte del *mix* las centrales de combustibles fósiles, y por ende fijando ellas el precio más caro, el resto de las centrales eléctricas seguirán percibiendo un mayor beneficio económico.

Este mayor precio de venta del MWh alentarán a nuevas inversiones en energías renovables a llevarse a cabo, pues el beneficio por unidad generada será mayor. A mayor beneficio en la oferta, mayor interés en formar a pasar parte de ella. Este incremento

<sup>83</sup> <https://bit.ly/3yxni5x>

en el beneficio de la venta en el MWh, unido a las ayudas estatales para la implantación de nuevos parques renovables, sin duda alentará a la proliferación de estos.

Sin duda, este encarecimiento de los permisos de emisión de CO<sub>2</sub> es el principal motivo de la subida de precio del MWh en España, pero hay otras razones que la acompañan.

## IRREGULARIDAD EN LA APORTACIÓN DE LAS RENOVABLES AL MIX ENERGÉTICO

El problema principal que presentan energías renovables como la solar o la eólica es bastante simple: si no hay sol, la energía solar no aporta energía; si no hay viento, la eólica tampoco.

Este problema tan básico tiene poca o ninguna solución que resuelva directamente este decremento de su aportación. Hay que limitarse a resignarse y *tirar* de aquellas otras centrales eléctricas que no precisen de estos recursos naturales para funcionar.

La variación de estos fenómenos naturales tiene otra traba, son difíciles de predecir. Esta irregularidad tan poco predecible impide a la red eléctrica contar con una base lo suficientemente sólida como para sustentarse continuamente.

Dicho 21 de julio se produjo una considerable reducción de la eólica, llegando a reducirse a un tercio de la habitual en días colindantes. A continuación, se adjuntan dos gráficas extraídas de REE, en la que se muestran su aportación durante crítica la jornada del 21 de julio y la de dos días después:

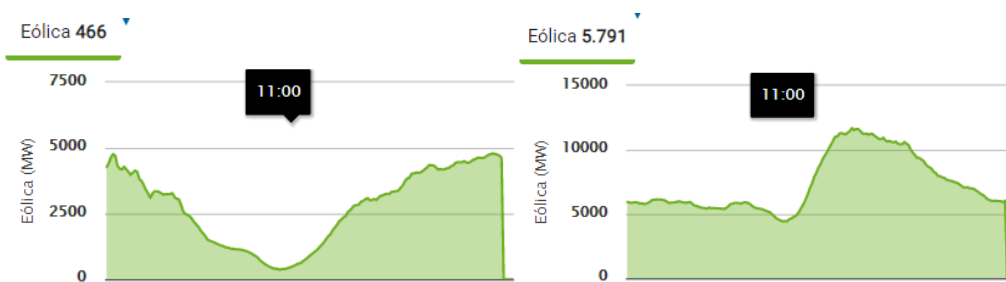


Ilustración 45: (izquierda) Generación Eólica 21/07/2021<sup>84</sup> y (derecha) Generación Eólica 23/07/2021<sup>85</sup>

<sup>84</sup> <https://bit.ly/3ywPQMd>

<sup>85</sup> <https://bit.ly/3ClfWnQ>

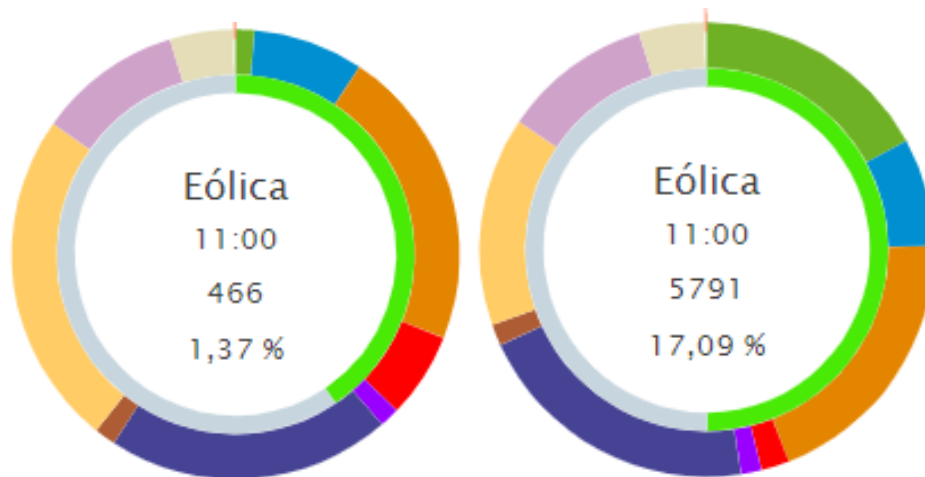


Ilustración 46: Estructura de generación (MW). A la izquierda, 21/07/2021; a la derecha, 23/07/2021

En estas gráficas puede verse cómo la generación eólica sufre notorias diferencias entre un día y otro, llegando a representar, en este caso, una disparidad en el porcentaje de la estructura de generación nacional de más del 15% (más de 5000 MW).

Estas divergencias suelen estar solventadas por la introducción de energía a la red procedente de tres fuentes diferentes: energía hidráulica, energía procedente de centrales de combustión y/o importación de energía (intercambios internacionales).

Cada una de estas fuentes presenta su propio inconveniente:

- La energía hidráulica está limitada al agua embalsada, por lo que está acotada a las lluvias de dicho año (para considerarse realmente renovable, véase ANEXO ENERGÍA HIDRÁULICA), o bien ha sido previamente bombeada, lo que ha conllevado un gasto de energía mayor al posteriormente producido
- La energía procedente de centrales de combustión conlleva la liberación de agentes contaminantes a la atmósfera, así como el sobre coste ya explicado
- La importación de energía eléctrica de otros países anexo significa un gasto nacional, pues es dinero que se está perdiendo al ser enviado fuera del país. VÉASE ANEXO INTERCAMBIOS INTERNACIONALES

De estos tres orígenes de la electricidad reclamada, tan solo el primero es sostenible a muy largo plazo, ya que ni es contaminante ni implica una pérdida de capital del país; sin embargo, presenta el problema de su limitada materia prima.

Queda demostrada la necesidad de mejorar los sistemas de almacenamiento energético en nuestra red eléctrica nacional, ya sea mediante la creación de nuevos embalses que puedan almacenar más agua (sigue siendo limitada, pero un *poquito* menos); o bien mediante el ingenio de nuevos métodos de almacenamiento cuya carga y descarga no implique unas pérdidas tan notables de energía como el bombeo y la turbinación de las aguas en las centrales hidroeléctricas.

## ANEXO B: EL MERCADO ELÉCTRICO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

El mercado eléctrico es el encargado de gestionar la energía comercializada, tanto en cantidades de energía como en su precio, de todo el sistema eléctrico, en este caso, peninsular. Así, el sistema eléctrico engloba desde la generación hasta la comercialización de la electricidad, pasando por el transporte y la distribución.

El sistema eléctrico es la máquina más grande jamás diseñada por el ser humano, englobando miles de elementos (generadores, líneas, transformadores, sistemas de protección, etc.) que operan a una misma frecuencia (50 Hz en nuestro caso).

El sistema eléctrico que llega hasta nuestras casas no está escala simplemente a nivel nacional, sino que está interconectado a nivel europeo. Como dato extra, mencionar que la capacidad de interconexión de la Península (con Francia y Marruecos) apenas supera el 3% de la potencia instalada total.

Esta interconexión sirve para igualar precios entre los diferentes países de la Unión, la cual recomienda que dicho porcentaje de interconexión del 3% debe llegar al 15% para paliar las irregularidades energéticas que provocará el despliegue masivo de las renovables (y, por ende, las irregularidades en el precio de la energía).

España y Portugal están fuertemente interconectadas entre ellas; pero, a día de hoy, la Península se asemeja más a un sistema insular que a un sistema continental.

En nuestro país, Red Eléctrica de España es la empresa designada para el transporte y operación del sistema, en régimen de monopolio, pero cuya remuneración está fijada por el Estado. Se encarga por tanto de gestionar el sistema de tal forma que se garantice la continuidad del suministro, cumpliendo con el programa diario previamente establecido por el operador del mercado.

El operador del mercado es la empresa encargada de la gestión del sistema de ofertas de compra y venta de energía eléctrica en el mercado diario. En el caso que concierne a nuestro país, esta empresa es el OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía – Polo Español), la cual gestiona el mercado *spot* de electricidad en nuestro país.

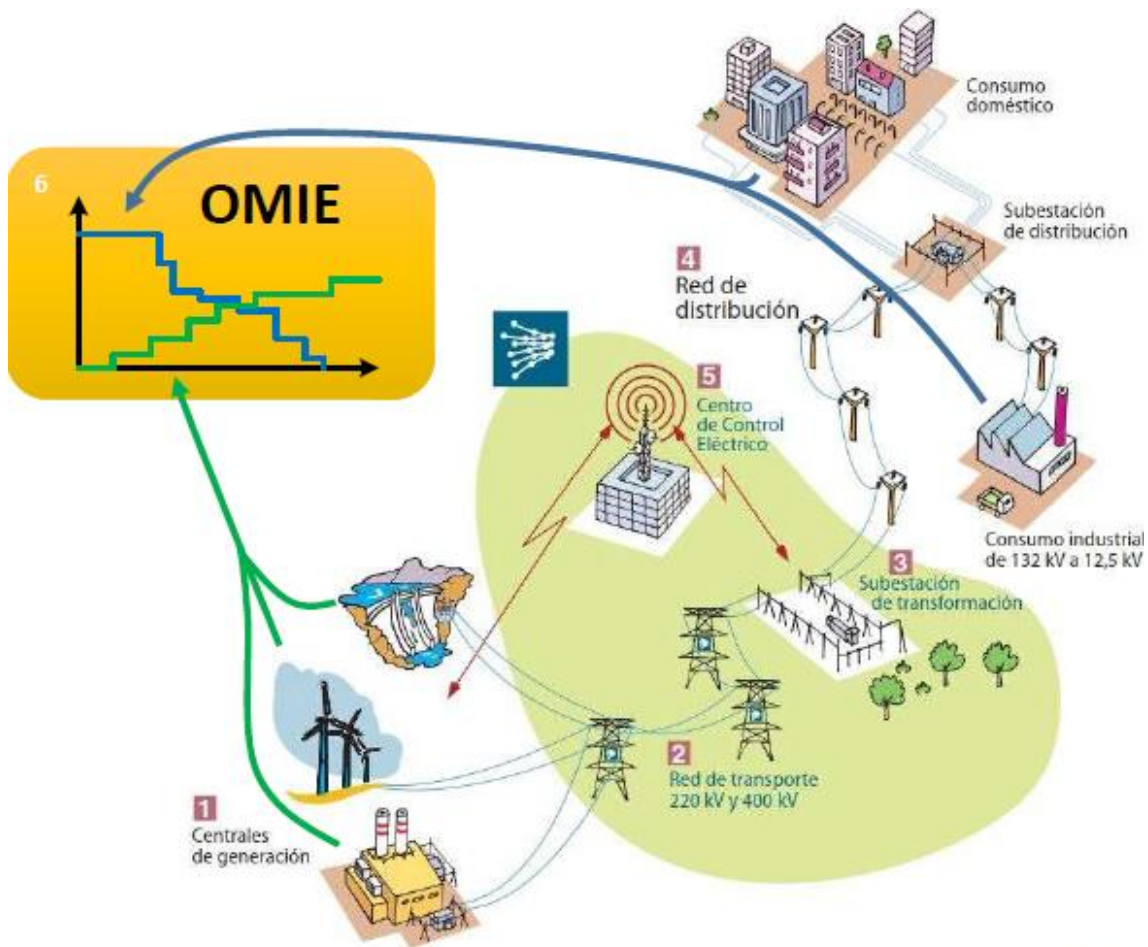


Ilustración 47: Esquema Representativo del Sistema Eléctrico Español (Fuente ICAI)

Este mercado se llama MIBEL (Mercado Ibérico de la Electricidad), y en él, las empresas se juntan para ofertar (compañías productoras de energía eléctrica a través de sus centrales) y demandar (comercializadoras, distribuidoras y grandes consumidores) la energía requerida de cada día en el mercado mayorista. Esto es el mercado diario, que a su vez consta de seis mercados intradiarios.

Este organismo se encarga de casar la oferta con la demanda, de manera que se compren las ofertas más baratas hasta igualar la cantidad energética requerida por la demanda. El precio a pagar por la energía de cada hora del día será aquel determinado por la última oferta en ser aceptada.

A pesar de las recientes noticias sobre los escandalosos precios que pagan los españoles por la *luz*, este mercado está regulado por la Comisión Nacional de los Mercados y de la Competencia, supervisado a su vez por el MINECO (Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital).

Además, este sistema de compraventa de energía y casamiento de oferta y demanda es el mismo que se emplea en toda Europa. He aquí el porqué Europa recomienda la interconexión entre países, para abogar por la paridad de precios.

## ANEXO C: ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

La energía hidroeléctrica es aquella que se genera al transformar la energía potencial gravitacional del agua, acumulada a una cierta altura, en energía cinética, turbinándola tras coger la velocidad apropiada. Por tanto, es energía sostenible, al ser libre de emisiones y al no agotar ningún recurso natural, pues el agua una vez turbinada vuelve a su ciclo natural.

Para poder aprovechar dicha energía potencial del agua, se precisa de un gran volumen, es decir, de un embalse. Este almacén se caracterizará por dos variables: la primera, el nivel del agua, es decir, la altura o cota a la que se encuentra respecto del nivel en el que se turbinada (a más altura, más energía potencial tendrá dicha masa); y la segunda, el volumen de agua almacenado, que denotará la cantidad de energía producible.

Para llevar a cabo esta hazaña es imprescindible construir grandes infraestructuras de obra civil, llamadas presas. Además de la subestación correspondiente y la ampliación del tendido eléctrico para que llegue a dicha estación eléctrica.

Como es de esperar, la transformación de la energía rotativa a energía eléctrica no es perfecta, sino que dicho proceso tiene un rendimiento. Actualmente este rendimiento es bastante alto, oscilando entre el 90% y el 95%<sup>86</sup>. El porcentaje de pérdidas se debe a principalmente a rozamientos en el circuito hidráulico (camino que recorre el agua durante el salto) y a rozamientos de las palas de la turbina; los equipos eléctricos también las tienen, pero ínfimas.

Está claro que el objetivo primario de estas centrales hidroeléctricas es generar energía soltando agua a una cierta altura, pero por lo que a este proyecto respecta, tiene un interés todavía mayor en lo que al proceso inverso se refiere: bombear agua hasta un nivel más elevado, aunque realizar este trabajo requiera consumir energía.

### BOMBEO HIDRÁULICO

El bombeo hidráulico es aquel proceso mediante el cual se transforma energía eléctrica en energía cinética mediante un motor rotativo, bombeando agua en contra de la gravedad desde un embalse inferior, hasta que alcance la cota determinada en un embalse superior. Esto permite que el agua pueda ser turbinada de nuevo en un futuro próximo en el que se requiera de esa energía.

Resulta que este consumo de energía no tiene que ser visto como una consecuencia negativa, sino como una oportunidad, pues lo que estamos aquí definiendo es una

---

<sup>86</sup> <https://bit.ly/3AQP4us>

batería. Un mecanismo al que se le aporta energía eléctrica con la intención de cargarlo energéticamente para darle un uso posterior cuando sea demandado.

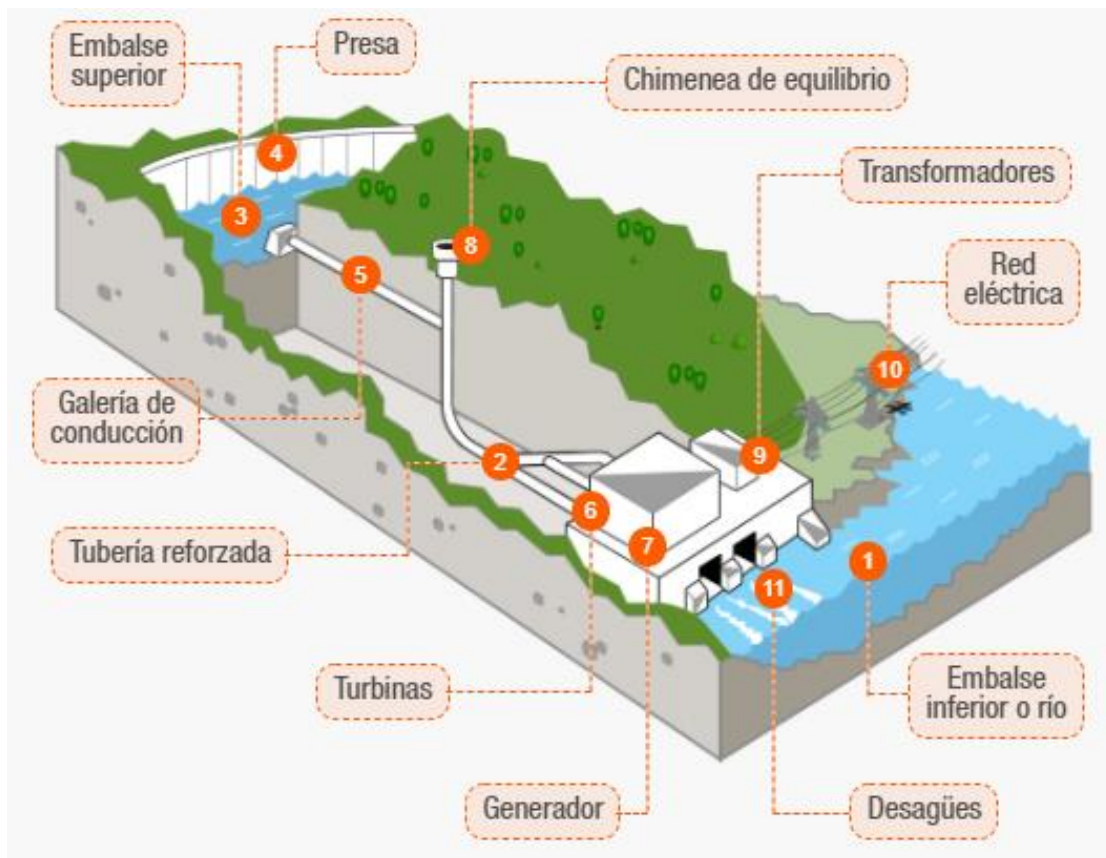


Ilustración 48: Funcionamiento de una central hidroeléctrica de bombeo (embalse superior artificial)<sup>87</sup>

Este proceso se emplea en el sistema eléctrico cuando se tiene un exceso de energía en la red, es decir, en momentos en los que la demanda es menor de la oferta y sobra energía. Gracias a la rápida puesta en marcha de este tipo de centrales son ideales para operar ante estas variaciones de manera inmediata.

Actualmente, en la que los precios de la energía varían enormemente de un día para otro, incluso de una hora a otra de la jornada, este proceso se ha está explotando en horas de escasa demanda, cuando el precio de la oferta es mucho menor, aprovechando así para recargar la batería a un precio barato y venderla cuando sea necesaria a un precio caro.

Por desgracia, y a diferencia de la turbinación, el rendimiento del proceso de bombeo es mucho más ineficiente, apenas superando el 75%<sup>88</sup>.

<sup>87</sup> <https://bit.ly/3gdQwPN>

<sup>88</sup> <https://bit.ly/2W6wBe6> (Página 47)

Esto significa que, si se quiere repetir el proceso de turbinación y bombeo, el rendimiento del conjunto se calculará como la multiplicación de ambos rendimientos, en tanto por uno. Así, podría considerarse como rendimiento estándar:

$$0,93 \times 0,75 \approx 0,7 \rightarrow 70 \%$$

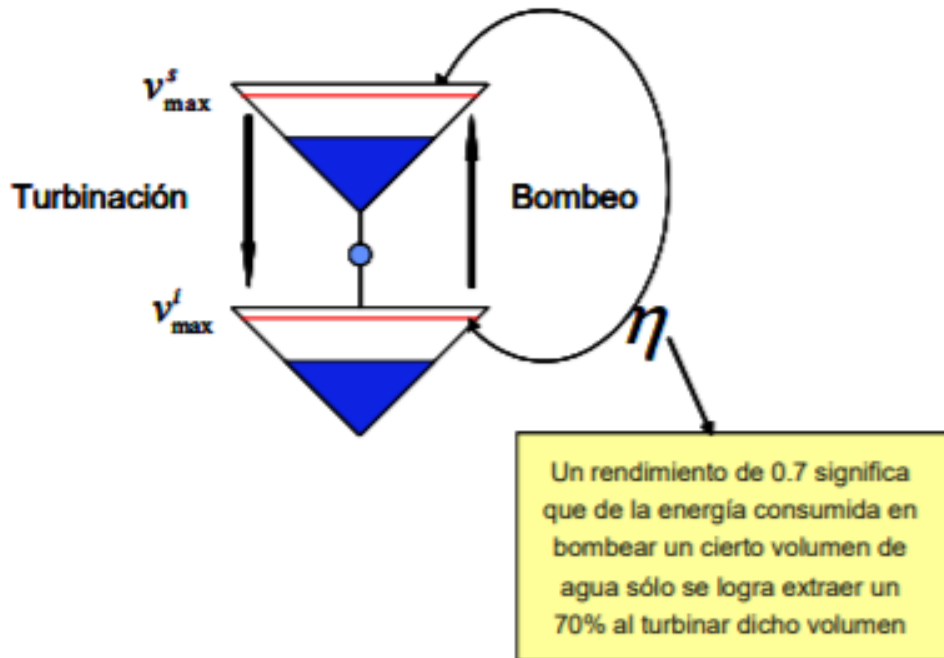


Ilustración 49: Central de Bombeo Puro<sup>89</sup>

Es decir, si se quieren emplear las centrales hidroeléctricas reversibles como grandes megabaterías que estén continuamente en funcionamiento, se ha de tener en cuenta las pérdidas energéticas de casi un tercio. Estas pérdidas intrínsecas a la física podrán mejorarse si se optimiza el rendimiento del proceso de bombeo, pues es el menor rendimiento de los dos, pero lamentablemente, de momento, tanto las tecnologías actuales como las que están en desarrollo están lejos de alcanzar el 90 % en el rendimiento del bombeo.

No obstante, este proceso reversible es rentable económicamente. A pesar de unas pérdidas energéticas que rondan el 30%, las discrepancias de precios son mayores en porcentaje. Es por ello por lo que un gran número de centrales gozan de estas instalaciones, siendo necesario diferenciar entre dos casos: las primeras, las centrales reversibles aquí explicadas; las segundas, las centrales de bombeo puro.

Estas centrales de bombeo puro están proliferando en el panorama nacional debido a los suculentos beneficios de especular con los precios de la energía eléctrica. Por supuesto, el beneficio conseguido por el tráfico de agua no es inmerecido, pues están sirviendo una función indispensable al sistema eléctrico.

<sup>89</sup> <https://bit.ly/2XFGsIP>



La diferencia de este grupo respecto a las reversibles es que las de bombeo puro no pueden ser utilizadas como centrales hidroeléctricas convencionales (generación mediante turbinación) sin haber bombeado previamente agua desde el embalse inferior hasta el superior.

Como conclusión necesaria para el lector, la energía procedente de bombeo puro no es renovable, pues la energía que emplea para bombear aguas arriba no es 100% de origen sostenible. En el mejor de los casos, podría decirse que el porcentaje renovable que supone dicha energía será el resultado del porcentaje renovable de la energía empleada, que, si quiere simplificarse mucho, puede decirse que equivaldrá al porcentaje renovable en dicho año.

Aunque, según el juicio del autor, el hecho de que se generen unas pérdidas de casi un tercio cada vez que se completa un ciclo de bombeo/turbinación, aunque sea rentable económicamente, no es rentable energéticamente, por lo que este sistema de almacenamiento en gigabaterías debería *sostenibilizarse*.

Esta comercialización seguirá ganando peso con el paso de los años en el sector eléctrico, pues grandes empresas como Iberdrola están apostando fuerte por el sector.

## LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN ESPAÑA

Según datos de REE<sup>90</sup>, a finales del 2020 la producción hidráulica peninsular alcanzó los 30 611 GWh, lo que la sitúa en cuarto lugar en el ranking, con un 12,8% del total generado. A continuación, se adjunta una gráfica de la misma compañía en la que pueden compararse las generaciones mensuales respecto a su media:

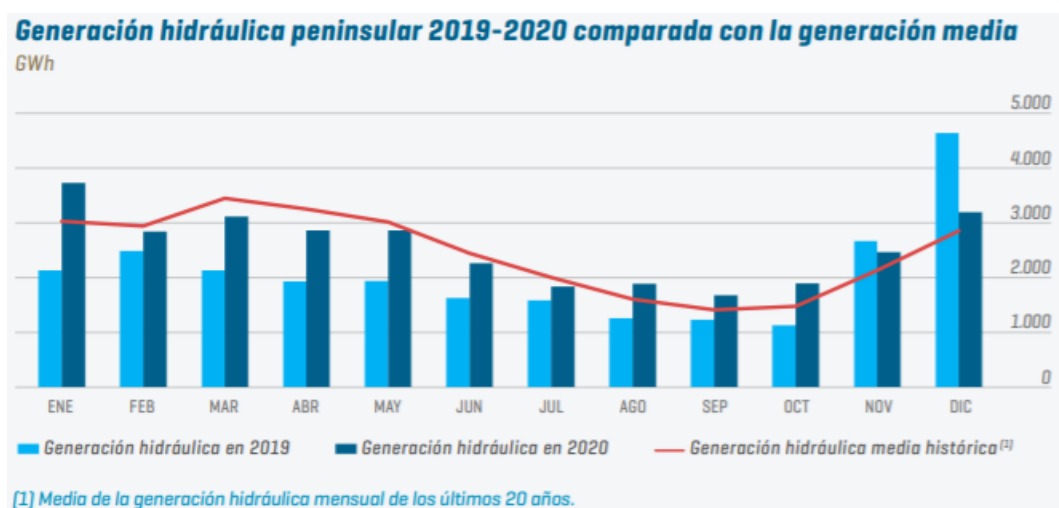


Ilustración 50: Generación Hidráulica Peninsular [2019-2020] comparada con la generación media

<sup>90</sup> <https://bit.ly/3AVZNnA>

Afortunadamente, Red Eléctrica proporciona al usuario una página web de la que extraer datos aislados para poder hacer sus propias comparaciones<sup>91</sup>. Así, se ha decidido calcular el porcentaje que representa la turbinación por bombeo respecto de la turbinación de aportaciones naturales del agua, es decir, sin que este volumen de agua haya sido previamente elevado desde un vaso inferior:

ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN POR TECNOLOGÍAS (%) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional

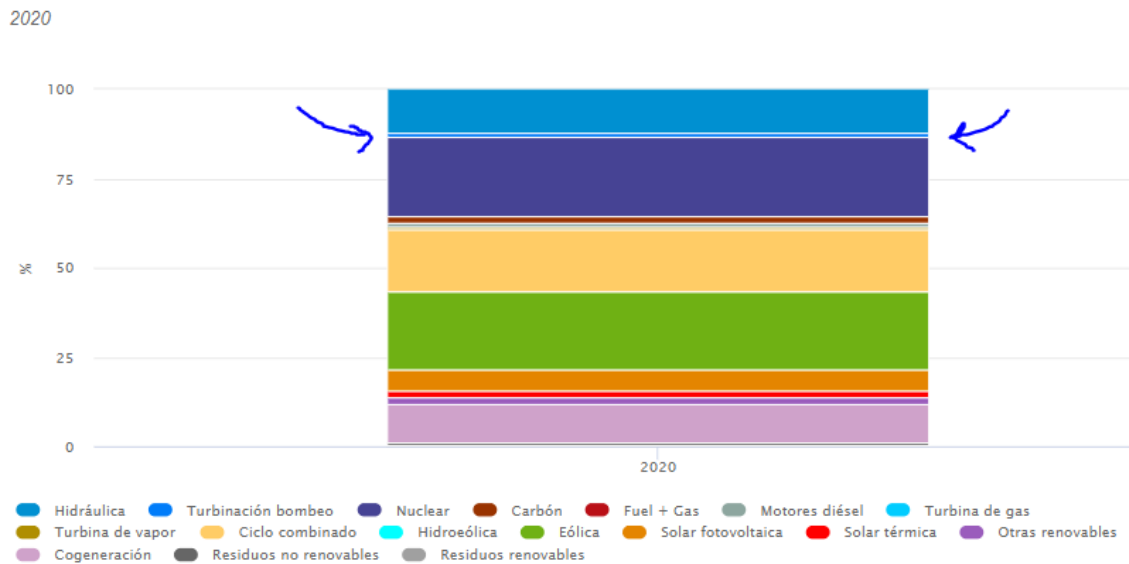


Ilustración 51: Estructura de la generación por tecnologías (Nacional)

A continuación, para aquellos interesados en conocer en qué estado se encuentra la energía hidroeléctrica en nuestro país, se adjuntan las cifras de los producidos totales por cada una de las tecnologías de generación. Asimismo, se acompañan estas cifras con los respectivos porcentajes que representa cada tecnología sobre el total:

<sup>91</sup> <https://bit.ly/3AR0PRy>

2020	2020
Hidráulica: <b>30.614 GWh</b>	Hidráulica: <b>12,2 %</b>
Turbinación bombeo: <b>2.748 GWh</b>	Turbinación bombeo: <b>1,1 %</b>
Nuclear: <b>55.757 GWh</b>	Nuclear: <b>22,2 %</b>
Carbón: <b>5.022 GWh</b>	Carbón: <b>2 %</b>
Fuel + Gas: <b>0 GWh</b>	Fuel + Gas: <b>0 %</b>
Motores diésel: <b>2.399 GWh</b>	Motores diésel: <b>1 %</b>
Turbina de gas: <b>407 GWh</b>	Turbina de gas: <b>0,2 %</b>
Turbina de vapor: <b>1.388 GWh</b>	Turbina de vapor: <b>0,6 %</b>
Ciclo combinado: <b>44.023 GWh</b>	Ciclo combinado: <b>17,5 %</b>
Hidroeléctrica: <b>20 GWh</b>	Hidroeléctrica: <b>0 %</b>
Eólica: <b>54.899 GWh</b>	Eólica: <b>21,8 %</b>
Solar fotovoltaica: <b>15.289 GWh</b>	Solar fotovoltaica: <b>6,1 %</b>
Solar térmica: <b>4.538 GWh</b>	Solar térmica: <b>1,8 %</b>
Otras renovables: <b>4.480 GWh</b>	Otras renovables: <b>1,8 %</b>
Cogeneración: <b>27.008 GWh</b>	Cogeneración: <b>10,7 %</b>
Residuos no renovables: <b>2.015 GWh</b>	Residuos no renovables: <b>0,8 %</b>
Residuos renovables: <b>726 GWh</b>	Residuos renovables: <b>0,3 %</b>
Generación total: <b>251.333 GWh</b>	

Ilustración 52: Cifras y porcentajes de la Estructura de Generación por Tecnologías (2020)

Si uno se fija en los datos colocados en la parte superior, puede ver cómo la turbinación bombeo apenas representa un 1,1% del total, frente al 12,2% representado por la hidráulica. Esto significa que la generación por turbinación bombeo representa un 9% del producido gracias a las aportaciones naturales de agua.

Por último, se adjunta en la una gráfica que muestra la distribución de las potencias hidráulicas instaladas a final del 2017.



Ilustración 53: Potencia Hidráulica Instalada (por CC.AA.), a 31 de diciembre de 2017 (MW)<sup>92</sup>

<sup>92</sup> <https://bit.ly/3sGWtcY>

## ANEXO D: MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO

Puesto que la intención de este proyecto no es profundizar en los principios universales que rigen el funcionamiento de los métodos de almacenamiento, se intentará resumir al máximo.

Los siguientes métodos son los más avanzados, relacionados con la producción de hidrógeno verde procedente de energía renovable, basados en electrólisis:

- **Electrolizadores Alcalinos:** El electrolito en el que se produce la conducción de los iones es una disolución alcalina, generalmente hidróxido de potasio (KOH). Su empleo es el más extendido en la actualidad: rentabilidad económica y madurez tecnológica.  
Se opera a una presión entre 1-30 bares, a una temperatura entre 60-80º C y su vida media oscila entre 60 000 y 90 000 horas
- **Electrolizadores de Membrana de Intercambio de Protones (PEM, *Proton Exchange Membrane*):** El electrolito es un polímero sólido conductor de protones, lo que reduce los problemas de corrosión. Como contrapunto, requiere del uso de metales preciosos, lo que requiere un coste muy superior. Como ventaja, pueden trabajar a mayor intensidad de corriente y ante fuertes variaciones de esta, permitiéndose acoplar fácilmente a las energías renovables. La presión a la que se opera varía desde los 30 bares hasta los 80 bares; la temperatura, entre 50 y 80 º C; y su vida media oscila entre las 30 000 y las 90 000 horas
- **Electrolizadores de Óxido Sólido (SOEC):** Electrolito elaborado con materiales cerámicos. Presenta una altísima eficiencia energética y reducidos costes de fabricación, aunque debe trabajarse a temperaturas superiores a los 700º C. Es el único electrolizador que permite reconvertir el hidrógeno producido en electricidad, usando dispositivos reversibles.  
Desgraciadamente, es la tecnología menos desarrollada hasta el momento; no obstante, se está invirtiendo enormemente en él, pues probablemente será el método idóneo para apoyar a la red.  
Además, tiene la ventaja de ser operado a 1 bar de presión, aunque de momento la vida útil de estas pilas no supera las 30 000 horas
- **Electrolizadores de Membrana de Intercambio de Aniones (AEM, *Anion Exchange Membrane*):** El electrolito empleado es una membrana de intercambio aniónico, mucho más barata y estable. Lamentablemente, todavía está en fase de investigación

Gracias a una de las conferencias recibidas en 2021 por parte de la Cátedra de Rafael Mariño de la Universidad (ICAI- Pontificia Comillas) por parte de *Monitor Deloitte*, se

puede adjuntar la Ilustración 54, la cual a su vez fue recogida de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y de distintos fabricantes de electrolizadores:

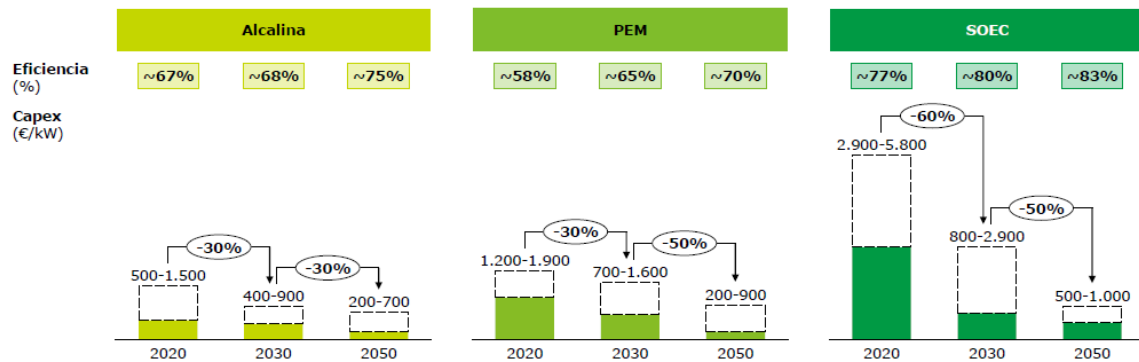


Ilustración 54: Tecnologías de Electrólisis<sup>93</sup>

En la Ilustración 54, puede verse cuáles son los rendimientos esperados de cada una de las tecnologías explicadas, ya en desarrollo, en las próximas décadas, acompañadas de las estimaciones en inversión necesaria en bienes de capital para engendrar dichas mejoras.

<sup>93</sup> <https://bit.ly/2W6Pz50>

## BIBLIOGRAFÍA

Informe “Global Warming of 1.5°C” – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2019

<https://bit.ly/3xT5TDg>

Página web “The Intergovernmental Panel on Climate Change”

<https://www.ipcc.ch/>

Comunicado de Prensa del IPCC “El cambio climático es generalizado, rápido y se está intensificando” - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), agosto 2021

<https://bit.ly/3m94gPq>

“Acuerdo de París”- Unión Europea, octubre 2016

Página web, Anuncio – “Primer Proyecto de Ley del Cambio Climático y Transición Energética para alcanzar la neutralidad de emisiones a más tardar en 2050” – MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)

<https://bit.ly/3yg7t1W>

Página Web – “Best Sellers for YTD 2021, European Union – Electric Vehicles”

<https://bit.ly/3ssNg7R>

Presentación Informativa – “Retos de la Electromovilidad. Smart Mobility” – Iberdrola, 2020

<https://bit.ly/3z9my6Z>

Informe – “Battery Pack Prices Cited Below \$100/KWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh” – BloombergNEF, diciembre 2020

<https://bit.ly/3gv8Wf1>

Informe – “Tesla Impact Report”- Tesla, 2018

<https://bit.ly/3zkw4Eq>

Página web, Anuncio – “Primer Proyecto de Ley del Cambio Climático y Transición Energética para alcanzar la neutralidad de emisiones a más tardar en 2050” – MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)

<https://bit.ly/3sJLIMp>

Página Web – “Transporte”- IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía)

<https://bit.ly/3sJLIMp>

Portal de datos web – “Consumos de energía final” - IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía)

<https://bit.ly/3kqAL9e>

Portal de datos web – “Consumos de energía final” - IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía)

<https://bit.ly/3DfxJx8>

Informe de Avance – “Comprometidos con la Energía Inteligente” – REE (Red Eléctrica de España)

<https://bit.ly/3Bbt0uQ>

Informe – “Electric Vehicle Outlook 2021” – BloombergNEF, 2021

<https://bit.ly/3keORut>

Informe de Avance – “Comprometidos con la Energía Inteligente” – REE (Red Eléctrica de España)

<https://bit.ly/2WpE1t5>

Informe – “Plan Nacional Integrado de Energía y Clima” 2021-2030 – MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico)

<https://bit.ly/3kpMBAu>

Informe – “El Sistema eléctrico español” – REE (Red Eléctrica de España)

<https://bit.ly/3mdDMME>

Página Web – “Tâmega: uno de los mayores proyectos hidroeléctricos realizados en Europa en los últimos 25 años”- Iberdrola

<https://bit.ly/2W82V08>

Página Web “Presupuesto de la UE: la Comisión Europea se congratula del acuerdo alcanzado sobre un paquete de 1,8 billones de euros para ayudar a construir una Europa más ecológica, más digital y más resiliente”- Unión Europea

<https://bit.ly/3CXtXbL>

Página Web – *Next Generation EU*

<https://bit.ly/3gdhs1P>

Presentación Informativa – “Retos de la Electromovilidad. Smart Mobility” – Iberdrola, 2020

<https://bit.ly/3klzCQz>

Informe – “Planes de Transporte al Trabajo” – IDAE

<https://bit.ly/3gocq2G>

Presentación Divulgativa – “Descarbonización de la Movilidad”- TRANSyT

<https://bit.ly/2WgYnVS>

Informe- “BP Statistical Review of World Energy 2021”- BP, julio 2021

<https://on.bp.com/3j5gwYx>

Informe “The European Green Deal”- EUR-Lex

<https://bit.ly/3k4hXwx>

Página web – “Un pacto verde europeo”- CE

<https://bit.ly/3yWx94W>

Página web – “Una transición hacia una energía limpia”- CE

<https://bit.ly/37TE2lz>

Página web- “Comunidades energéticas locales” – IDAE

<https://bit.ly/2W2wGzE>

Página web – “Programa MOVES III”- IDAE

<https://bit.ly/3AR7JX5>

Página web- “National energy and climate plan”- CE

<https://bit.ly/3AYV8kL>

Página web- “Cumplir el pacto verde”- CE

<https://bit.ly/3iYh8WA>

Informe – “Estrategia de almacenamiento energético”- MITECO

<https://bit.ly/3B9LETV>

Informe – “Hoja de ruta del hidrógeno verde”- MITECO

<https://bit.ly/3ghGqgS>

Informe – “The future of hydrogen”- IEA (International Energy Agency), 2020

<https://bit.ly/3B4tRNT>

Página web – “Almacenamiento de energía: la clave de un futuro descarbonizado”- Iberdrola

<https://bit.ly/2XK6U43>



Página web - “Oportunidades de modernización económica asociadas a lograr la neutralidad de emisiones en 2050” - MITECO

<https://bit.ly/3z585J8>

Página web – “Almacenamiento energético” – REE

<https://bit.ly/37YvWhw>

Presentación divulgativa – “El presente del hidrógeno en la automoción” – ARIEMA

<https://bit.ly/3AUOs76>