

## **El uso de la energía eléctrica como base del funcionamiento de la actividad económica**

**Texto de D. Ignacio Cruz**

### **Introducción**

Cuando por la noche enciendes la lámpara en casa, estas consumiendo energía en forma eléctrica, cuando enciendes la tele o el ordenador estas consumiendo energía eléctrica, cuando bebes alguna bebida fresca del frigorífico estás consumiendo energía en forma eléctrica, pero esto no ha sido siempre así.

No hace mucho más de siglo y medio, en 1852, fue cuando se encendieron las primeras iluminaciones alimentadas con energía eléctrica. Pero como se iluminaba por la noche la gente antes de llegar la ener

gía eléctrica?

La iluminación antes de 1852 era normalmente con gas, producido a partir de carbón desde finales del siglo XVIII y antes eran las lámparas de aceite y antes eran las velas. Por lo tanto vemos, que se han ido produciendo sucesivas transiciones en las que al final parece que se ha consolidado la electricidad como forma de energía óptima para iluminarnos por la noche. Vemos claramente que en el entorno de 1850 comenzó el proceso de electrificación de la iluminación que nos ha llevado hasta las lámparas led de bajo consumo que se utilizan en nuestros días.

A partir de ese año se fue estableciendo el sistema eléctrico que hoy conocemos y que ha permitido transportar la energía de forma muy eficaz desde donde se genera al emplazamiento donde se consume, por eso lo denominamos vector eléctrico.

Electrificar es el proceso de convertir una máquina, proceso, sistema o sector para que utilice electricidad donde antes no lo hacía.

Por ejemplo, a finales del siglo XIX, las primeras centrales de generación eléctrica normalmente eran pequeñas turbinas hidráulicas de decenas de kilovatios situadas en las riberas de los ríos, las cuales accionaban una máquina eléctrica o dinamo que generaba energía eléctrica en corriente continua. Por lo tanto se convertía la energía hidráulica en energía eléctrica, que en principio se utilizaba para iluminar las casas y para actuar pequeñas máquinas para actividades fabriles cercanas y que con el tiempo se aprendió a transportar. Por ejemplo Tomas Edison puso en marcha su primera central hidroeléctrica en 1882 en Estados Unidos.

La mayoría de vosotros habéis oído hablar del coche eléctrico Tesla pero fue precisamente Nikola Tesla, quien en 1885 propuso convertir la energía continua en alterna para poder transportarla más eficazmente desde los centros de generación a las ciudades donde se encontraba la gran demanda de energía tanto residencial como industrial.

A partir de ese momento la energía eléctrica se fue extendiendo por todos los países mediante redes eléctricas que permiten transportar la energía de forma eficiente y limpia.

En España la primera central eléctrica se puso en marcha en 1885 y su energía se utilizaba para iluminar las ciudades por la noche. Hoy en día la energía eléctrica prácticamente llega a todos los sitios con gran eficacia y seguridad. Durante el año 2019, en España se consumieron casi 250.000 Megavatios por hora (MWh) de energía eléctrica.

¿Pero de dónde obtenemos esa cantidad ingente de energía eléctrica? Pues lo obtenemos de la transformación de energía que se encuentra previamente en otras formas como pueden ser a partir de la energía térmica obtenida en la combustión de combustibles fósiles (carbón o gas natural), o a partir de la energía nuclear obtenida a partir de las sucesivas separaciones de átomos o a partir de las denominadas energías renovables como por ejemplo a partir del movimiento del agua (energía hidráulica), movimiento del aire (Energía eólica), de la radiación solar (Energía solar), del movimiento del mar o de la combustión sostenible de biomasa o residuos orgánicos. No hace falta indicar que si queremos tener un Mundo sin riesgos de cambios climáticos tenemos que ir progresivamente evolucionando hacia el uso de las energías renovables como fuentes del 100% de la energía eléctrica que consumimos.

Pero este objetivo no es fácil. La energía eléctrica tiene una característica muy especial. En cada instante hay que inyectar en la red eléctrica la misma cantidad de energía eléctrica que se consume y

obviamente la demanda de energía está continuamente variando por lo que la generación total tiene que estar continuamente variando el nivel de energía que inyecta para que se mantenga estable un parámetro que es la frecuencia de la red eléctrica.

Esta característica no ha impedido el desarrollo de la energía eléctrica como vector gracias a disponer de fuentes de energía regulables gracias a su capacidad de almacenamiento. Los combustibles fósiles se pueden ir transformando progresivamente siguiendo a la demanda de energía eléctrica, la mayoría de las centrales hidroeléctricas disponen de agua embalsada que pueden turbinar en función de la demanda de energía eléctrica, pero la energía eléctrica producida en las centrales solares y en los parques eólicos depende de la evolución del recurso solar y eólico en cada instante por lo que no tiene por qué coincidir con el instante en el que nosotros queremos consumir esa energía.

Una solución a ese problema es almacenar la energía eléctrica cuando nos sobra y entregarla a la red cuando nos hace falta. Eso ya se está haciendo mediante distintas técnicas como es bombear agua a un embalse a mayor altura con la energía eléctrica excedentaria para turbinarla cuando haga falta o almacenar la energía en forma electroquímica en una pila como descubrió Alejandro Volta en 1799, 50 años antes de desarrollar la generación de electricidad a partir de la energía hidráulica. Como podéis entender, el desarrollo de las distintas técnicas de almacenamiento de energía está sufriendo hoy en día una verdadera revolución en busca de soluciones más eficaces y competitivas en coste que permitan gestionar de forma eficaz la inmensa cantidad de energía renovables variables que se va a producir en los años futuros.

Como ya hemos visto las energías renovables variables como la eólica y la solar no están produciendo en todo instante a la máxima potencia y la demanda de energía eléctrica está variando en todo instante por lo que para poder cubrir la demanda de energía eléctrica con energías renovables variables habrá que disponer de una gran capacidad de generación instalada que producirá en ocasiones más energía eléctrica de la demandada y viceversa. Para que el sistema eléctrico funcione correctamente se requerirá de una gran capacidad de almacenamiento pero además se requerirá de una gran demanda de electricidad a poder ser también regulable.

Por ello, la progresiva electrificación de aplicaciones que hoy consumen otros tipos de energía, especialmente aquellas que son fósiles, es crucial si queremos lograr la tan necesaria descarbonización de nuestra economía.

Si miramos ahora hacia los medios de transporte, todos sabéis que en 1804 un inglés llamado Richard Trevithick construyó la primera locomotora de vapor. Esta tecnología basada en una fuente fósil como es el carbón fue una solución totalmente revolucionaria frente al transporte accionado por animales hasta que Werner Von Siemens desarrolló la primera locomotora eléctrica con un pequeño motor de 2,2 kW. Hoy en día gran parte del transporte ferroviario es eléctrico por lo que también se ha producido la electrificación de este tipo de transporte.

Como veis poco a poco la electricidad se va imponiendo en la mayoría de los consumos debido a su madurez, su eficacia, su fiabilidad y sobre todo porque hoy en día permite realizar la transición hacia la descarbonización de la energía y por tanto de la sociedad, siempre que para producir esa electricidad utilicemos fuentes de energía limpias como son las energías renovables.

Ahora bien, todavía existen consumos residenciales como por ejemplo la calefacción o el agua caliente sanitaria de nuestras viviendas que se sigue realizando mayoritariamente mediante energía térmica producida a partir de la combustión de un combustible fósil, normalmente el gas natural. El nuevo código técnico de la edificación CTE impone una cierta eficiencia del 70% en la energía utilizada para agua caliente sanitaria por lo que se puede utilizar la energía solar térmica para obtener gran parte de la energía para calentar el agua sanitaria o incluso la bomba de calor pero la calefacción se puede también electrificar mediante la tecnología de bomba de calor que puede llegar a tener un rendimiento de hasta el 600%, lo que quiere decir que con 1kWh consumido de energía eléctrica se logran hasta 6 kWh de energía en forma de calor. En otro apartado puedes ver con más detalle la tecnología de bomba de calor que se utiliza para climatización (calefacción y refrigeración) de viviendas y edificios de oficinas.

Ya hemos visto cómo se pueden electrificar prácticamente todos los consumos residenciales y de servicios pero que ocurre lo mismo con la industria.

La electrificación de la industria también se ha producido especialmente en algunos sectores como por ejemplo las denominadas industrias electrointensivas. Se denomina sector electrointensivo al conformado por aquellas industrias para las que la electricidad es un factor primordial en su proceso.

En este contexto se engloban los sectores como el metalúrgico (fabricación de alúmina y aluminio, zinc, cobre, carburo de calcio, silicio metalúrgico, aleaciones de manganeso, ferrosilicio, etc.), químico

(Fabricación de componentes farmacéuticos, agroalimentarios, nutrición, cosméticos, plásticos, cloro, vinilos, anilinas, grafito) siderúrgico (Acerías y trenes de laminación para fabricación de acero, acero inoxidable, etc.), y gases industriales (oxígeno, nitrógeno, argón). En estas industrias el coste energético puede llegar a suponer un 50% de los costes de producción.

Ejemplos de procesos industriales de alto consumo eléctrico son los hornos de arco eléctrico o la electrólisis, los procesos de calentamiento y secado, el tratamiento de aguas residuales en la industria metalúrgica, pero sigue habiendo procesos que demandan calor como la climatización, el calentamiento de baños o los hornos de secado que se pueden evolucionar a sistemas eléctricos con bombas de calor industriales.

Pero hay todavía muchas actividades industriales que requieren energía intensiva en forma de calor obtenido a partir de la combustión de gas natural o hidrógeno a partir del reformado del gas natural como por ejemplo la industria química (refinerías, fertilizantes), la industria papelera, la industria de la cerámica y vidrio o la industria del cemento muy difíciles de electrificar por lo que la solución de descarbonización pasara por el denominado acoplamiento del sector eléctrico y de los gases renovables.

Otro sector en el que los combustibles fósiles son todavía mayoritarios es todo lo relacionado con la movilidad (transporte privado por carretera, transporte de mercancías por carretera, transporte aéreo y transporte marítimo).

La tremenda evolución lograda en las baterías electroquímicas, especialmente en relación entre energía y peso con el desarrollo de la batería de iones de litio ha hecho florecer el transporte urbano en vehículos eléctricos de todo tipo (patinetes, bicicletas, motos, triciclos, coches), lo cual está facilitando la electrificación del transporte utilizado en las ciudades donde mayores problemas de contaminación se están produciendo debido a la masificación. Los vehículos eléctricos además pueden apoyar a la red eléctrica como sistema de almacenamiento distribuido en la medida que esta se digitaliza y evoluciona a la denominada red eléctrica inteligente.

Ahora bien, con el resto del transporte como es el pesado cual es la potencial solución. En principio, el nivel de consumo de energía que requiere el transporte de mercancías por carretera no facilita el uso de baterías por lo que la previsión es su evolución hacia el vector hidrogeno pero ese hidrógeno deberá ser de origen renovables producido a partir

de la electrolisis del agua por lo que la energía necesaria será en forma eléctrica y deberá ser producida por energías renovables si queremos garantizar su sostenibilidad. Algo parecido se prevé para el transporte ferroviario que no disponga de catenaria para utilizar como energía la electricidad directamente. En relación al transporte aéreo y marítimo el uso de baterías con la tecnología actual es complicado debido a la limitación de capacidad y peso en ambos pero especialmente en el aéreo. Por ellos se prevé que también sea el hidrógeno verde o gases o líquidos renovables los que se utilicen en la transición de este tipo de transporte a la futura sociedad descarbonizada.

Pero no olvidemos que el proceso de electrificación requiere la producción de una cantidad de energía eléctrica ingente a todas las horas del día con la flexibilidad suficiente para adaptarse a la demanda en cada instante.

Para lograr esa flexibilidad y reducir al máximo las posibles pérdidas de energía se deberá desarrollar también una red eléctrica digitalizada que disponga de cierta inteligencia –smart grid- para gestionar de forma óptima la generación eléctrica y la demanda en función de las predicciones de los recursos renovables, el estado de la capacidad de almacenamiento y de la predicción de la demanda de energía eléctrica en cada instante.

A continuación vamos a ver más en detalle algunas de las tecnologías que nos van a permitir avanzar en esa electrificación de la economía como es la tecnología de bomba de calor para descarbonizar la climatización de los edificios de forma eficaz, el almacenamiento distribuido de energía en baterías que permitirá adaptar la generación y la demanda de energía eléctrica evitando producir vertidos de energía en los periodos de gran producción y baja demanda o desconexiones en los periodos de baja producción y alta demanda, las técnicas de digitalización que permitirán dotar de inteligencia al sistema eléctrico, las electrolineras que permitirán cargar la batería de los vehículos eléctricos en tiempos cada vez más cortos, los vehículos eléctricos tanto de uso personal como los vehículos eléctricos de transporte colectivo.

### **La bomba de calor para calefacción y refrigeración**

Una bomba de calor es un aparato cuyo funcionamiento se basa en la termodinámica. Consiste en transportar energía en forma de calor de un ambiente (que puede ser el aire, el agua o el suelo) a otro. Este proceso se logra mediante el cambio fase de un líquido refrigerante que pasa de

líquido a gas (evaporación) absorbiendo calor a la temperatura ambiente por ejemplo en el exterior de la casa y entregando el calor en el interior por lo que el líquido refrigerante se enfría y condensa volviendo a fase líquida.

La bomba de calor tiene la capacidad de capturar energía de fuentes externas gratuitas y renovables. Esta característica hace que sea un equipo que multiplica la potencia eléctrica de accionamiento del compresor, transportando calor útil de forma altamente eficiente.

La eficiencia de una bomba de calor se mide por su coeficiente de rendimiento COP (Coefficient of Performance). En este caso, se trata de una relación entre el calor cedido y la energía eléctrica consumida principalmente por el compresor. Para una correcta eficiencia y funcionalidad, una bomba de calor debe alcanzar un COP de entre 2 y 6, dependiendo de la diferencia entre las temperaturas de ambos focos (interior o exterior). El COP es variable según el tipo de bomba de calor y según las condiciones de funcionamiento. La variable que más influye en su funcionamiento es principalmente la temperatura ambiente, aunque también influye la temperatura entrada agua fría, temperatura de preparación y humedad relativa.

Las bombas de calor son empleadas en equipos de climatización, en este caso, para aportar calor o calentar agua sanitaria, aunque también hay bombas de calor que funcionan con un ciclo inverso, es decir, que aportan frío al local. En este caso estamos hablando de una bomba de calor reversible.

La ventaja de usar la bomba de calor reside en su capacidad de suministrar más energía útil (en forma de calor) de la que utiliza para su funcionamiento (energía eléctrica), pudiendo llegar a producir un ahorro del 70% respecto a un sistema de calentamiento tradicional como el gas natural o el gasóleo en calderas o la electricidad directamente en resistencias.

Una bomba de calor está compuesta por cuatro componentes:

Comenzamos por el -compresor- que se encarga de comprimir el fluido refrigerante en forma de vapor aumentando su presión y su temperatura por lo que tiene mucha energía. Su trabajo permite el desarrollo del proceso y requiere de electricidad para su funcionamiento. El -condensador- que es un intercambiador de calor a través del cual el fluido refrigerante en forma de vapor cede toda su energía al aire o al agua en un depósito o calderín. A medida que va cediendo la energía el fluido refrigerante en fase vapor se condensa y vuelve a estado líquido

(Baja temperatura y baja presión). La -válvula de expansión- que es un componente del circuito por el que pasa el fluido refrigerante y que por medio de su cambio de sección, supone una reducción brusca de la presión y también un descenso notable de la temperatura y por último, -el evaporador- que es otro intercambiador de calor y que a través de su superficie ampliada por un sistema de aletas, permite el intercambio entre el fluido refrigerante y el aire ambiente absorbiendo el fluido refrigerante la energía del aire ambiente quedando este último más frío. En este intercambiador el fluido refrigerante pasa de nuevo a estado vapor a baja presión que irá al compresor y así se cierra el ciclo.

Existen cuatro tipos principales de bombas de calor:

La bomba a calor aire-aire: el calor que se toma del el aire se transfiere directamente al aire del local que debe calentarse.

La bomba a calor aire-agua: el calor se toma del aire y se transfiere a un circuito de agua que abastecerá un suelo/techo radiante/refrescante, radiadores, ventilo-convectores o aéro-termos.

La bomba a calor agua-agua: el sistema toma el calor de un circuito de agua en contacto con un elemento que le proporcionará el calor (la tierra, capa freática) para transferirlo a otro circuito de agua como en el caso anterior. Es el sistema generalmente adoptado por las bombas de calor geotérmicas.

La Bomba de calor geotérmica: este tipo de bombas de calor obtiene la energía del terreno a través de un fluido con buenas características como portador de calor, que absorbe el calor del suelo y lo transmite al circuito frigorífico de la bomba.

Como la energía térmica solamente puede ir de un nivel de energía más alto a otro más bajo, el fluido refrigerante presente en el evaporador, necesariamente debe estar a una temperatura menor que la del aire ambiente. Por otra parte, el fluido refrigerante situado en el condensador debe tener también necesariamente, una temperatura superior a la del agua a calentar en el depósito para poder cederle energía.

Un ejemplo claro de bomba de calor es el frigorífico. En este caso, se transfiere el calor del interior del frigorífico (reduciendo su temperatura) hacia el exterior, aumentando la temperatura de la estancia. En el caso de una bomba de calor para producción de agua caliente sanitaria el funcionamiento es similar: el gas absorbe el calor del aire del ambiente y lo cede al acumulador de agua a través de un condensador.

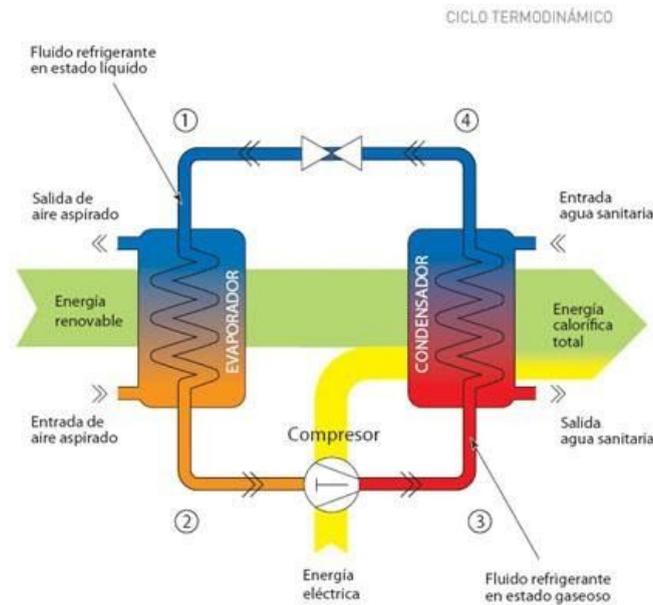


Figura 1. Esquema de una bomba de calor

Por último indicar que las bombas de calor geotérmicas pueden hoy en día sustituir a los combustibles fósiles (gas natural) con gran eficacia no solo en viviendas unifamiliares sino en edificios residenciales considerándose como climatización renovable.

Como caso de éxito comentar el proyecto residencial "Arroyo Bodonal" situado en la ciudad de Tres Cantos (Madrid) que se compone de un edificio de 80 viviendas y 8 locales considerando como proyecto emblemático en el ámbito de la eficiencia energética con certificado LEED Platino de construcción sostenible.

Se basa en aprovechar la energía geotérmica para alimentar las instalaciones de agua caliente sanitaria y climatización, calefacción por suelo radiante y refrigeración también por suelo.

Dispone de 8 bombas de calor geotérmicas de la marca Vaillant modelo VWS 460/2 en cascada con una potencia equivalente de 445 kW para calefacción y 390 kW para refrigeración. Dispone de 47 sondas verticales de 137 metros de profundidad. El suelo radiante emite hasta 30 W/m<sup>2</sup> de calefacción y 25 W/m<sup>2</sup> de refrigeración. Estas medidas permitirán un ahorro energético anual previsto de entre un 70% y un 80%. Se logra ahorrar en energía unos 481.863 kWh al año.

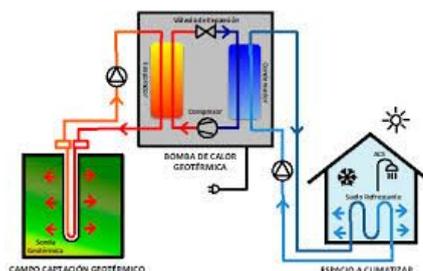


Figura 2. Residencial "Arroyo Bodonal". Esquema de la bomba de calor geotérmica para climatización de todas las viviendas

### **Almacenamiento distribuido de energía en baterías**

El almacenamiento electroquímico en pilas, baterías o acumuladores existe desde 1800.

Una batería se crea cuando conectamos dos metales diferentes (electrodos) a través de una solución salina que puede ser líquida, gel o sólida (electrolito). Se provoca una reacción química redox (reducción-oxidación) por la que uno de los metales que hace de polo o electrodo positivo se reduce cediendo electrones a través del electrolito al otro metal, que hace de polo o electrodo negativo, el cual se oxida. Ese movimiento de electrones es lo que produce la corriente eléctrica que entrega cuando se descarga o absorbe la batería cuando se carga.

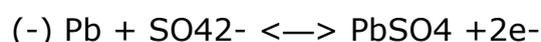
En 1986 Gastón Planté fabricó la primera batería de plomo y ácido que son las que hoy en día se siguen utilizando por ejemplo para arrancar el coche de combustión interna. Este tipo de baterías siguen siendo muy utilizadas en aplicaciones móviles (carretillas eléctricas) o en aplicaciones estacionarias (sistemas de alimentación ininterrumpida, almacenamiento en sistemas renovables aislados de la red eléctrica), debido a su simplicidad y coste competitivo, pero su relativa baja energía específica (Wh/Kg) ha impedido que fueran la solución ideal para la electrónica de consumo o el vehículo eléctrico.

En las baterías de Plomo-Ácido el electrodo positivo está compuesto por dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>) y el electrodo negativo por Plomo metálico esponjoso (Pb), El electrolito es una disolución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O) al 37%.

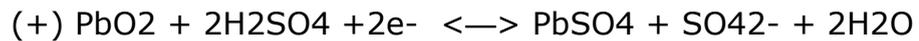
En el proceso de descarga sería desde la ecuación de la izquierda hacia la derecha y el de carga el proceso inverso:

(Batería cargada)  $Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \longleftrightarrow PbSO_4 + 2 H_2O$  (Batería descargada)

En el polo o electrodo negativo en la proceso de descarga de la batería se produce una reacción de oxidación entre el plomo metálico esponjoso del electrodo y el ácido sulfúrico del electrolito oxidándose el electrodo a sulfato de plomo y cediendo 2 electrones al otro electrodo que es la energía eléctrica que está entregando al exterior cuando la batería se descarga.



Mientras que en el polo o electrodo positivo en la descarga se produce una reacción de reducción entre el dióxido de plomo del electrodo y el ácido sulfúrico del electrolito reduciéndose en sulfato de plomo y liberando sulfato y agua cuando la batería está descargada.



En el electrolito se reduce la concentración del ácido, provocando una pérdida de densidad

Para realizar la carga obviamente sería el proceso inverso en ambos electrodos, devolviendo el estado de los electrodos y del electrolito al estado original. Al proceso de una carga y una descarga lo llamamos ciclo y su eficiencia desafortunadamente no es del 100%.

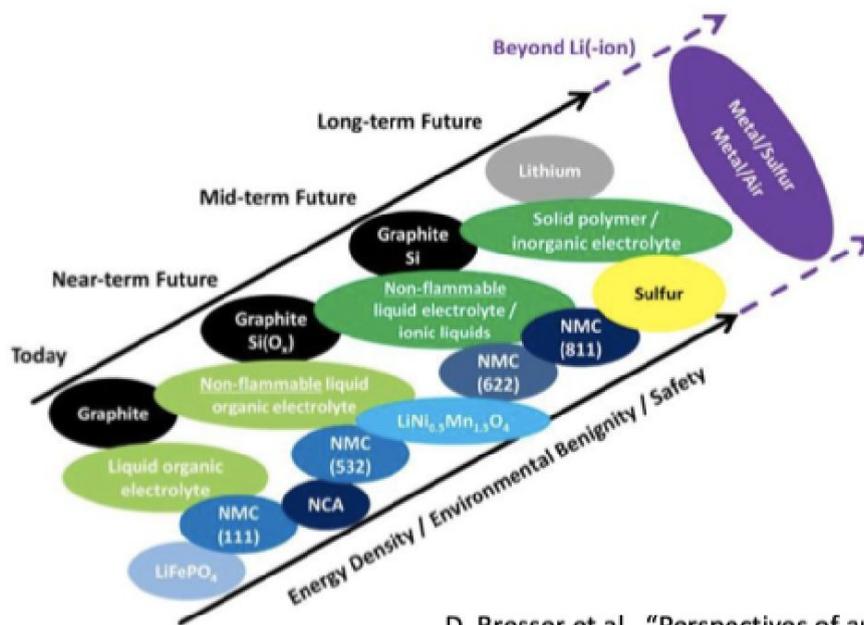
En 1899 un sueco llamado Waldemar Jungner inventó la batería de electrodos de Níquel y de Cadmio con una solución de hidróxido de potasio KOH como electrolito. El cadmio es un material caro y problemático medioambientalmente por lo que se intentó cambiar por hierro.

El físico-químico americano de la Universidad de Berkeley, Gilberto Lewis comenzó en 1912 a experimentar con baterías de litio, pero hasta casi 60 años después, en 1970 no llegó la primera batería de litio comercial. Esta batería utilizaba litio en el ánodo y diferentes materiales en el cátodo (Sulfuro de hierro, dióxido de manganeso, dióxido de azufre) etc. En 1989 aparecen en el mercado las primeras baterías de Níquel Metal Hidruro (NiMH) que evitaban el uso del cadmio. El ánodo es oxihidroxido de Níquel y el cátodo es una aleación de hidruro metálico. La densidad de energía es de hasta 100 Wh/Kg y soporta hasta 2000 ciclos. Este tipo de baterías recargables son las que se utilizan hoy en día en los mandos remotos de los equipos domésticos, en robots, en scooters y también en muchos vehículos híbridos como el Toyota Prius

Pero para lograr baterías útiles en equipos móviles y vehículos se requería de una alta densidad energética, una alta densidad de potencia y un elevado número de ciclos de carga y descarga que aseguren una larga vida útil. Todos ellos influyen en el coste de la batería que, por otro lado, debe reducirse para lograr un precio asequible.

Por fin la batería de iones de litio llegó en 1985, con un material similar al grafito denominado coque en uno de los electrodos (ánodo) y óxido de litio-cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ) en el otro electrodo (cátodo) y ambos sumergidos en un electrolito compuesto por una disolución orgánica de sales de litio conductora por la que va el flujo de iones. Al principio tenía

problemas de estabilidad y por lo tanto de seguridad, pero estos problemas se fueron solucionando hasta en 1989 los investigadores Goodenough y Manthiram de la Universidad de Texas lograron tensiones mayores utilizando sulfatos y posteriormente Litio-Ion-Fosfato en un electrodo y otros fosfatos de litio metal con una estructura especial como cátodos. A partir de ese momento la investigación no paró para lograr aumentar la conductividad del material aumentando el rendimiento: La batería de iones de litio se convirtió en la solución óptima de almacenamiento de energía para móviles, tabletas, portátiles y todo tipo de vehículos eléctricos ligeros (bicis, motos) y coches para uso urbano.



D. Bresser et al., "Perspectives of automotive battery R&D in China, Germany, Japan, and the USA," J. Power Sources, vol. 382, pp. 176–178, 2018.

Figura 3. Perspectivas de la I+D en baterías para automoción en China, Alemania, Japón y Estados Unidos.

La batería de iones de litio son todavía costosas aunque su precio está bajando continuamente, soportan un número ilimitado de ciclos pero a partir de 3000 ciclos con el uso van perdiendo capacidad progresivamente por lo que se pueden utilizar en vehículos eléctricos hasta 3000 ciclos (70%) y después en una segunda vida en aplicaciones estacionarias de autoconsumo en viviendas. Las baterías de iones de litio se calientan por lo que hay que controlar su proceso de carga mediante un cargador adecuado, pierden rendimiento con bajas temperaturas y su tensión de salida puede ser muy variable.

El rendimiento de las baterías está estrechamente relacionado con las propiedades de los materiales que forman el electrodo que actúa como cátodo. Los materiales más utilizados son los formados por capas de níquel, manganeso y cobalto (NMC), porque son relativamente fáciles de sintetizar, pero también porque tienen una alta capacidad y densidad de energía. Esto se debe al equilibrio entre sus propiedades de reversibilidad y bajo coste, en comparación con los materiales de uso común de óxido de litio y cobalto (LiCoO<sub>2</sub>).

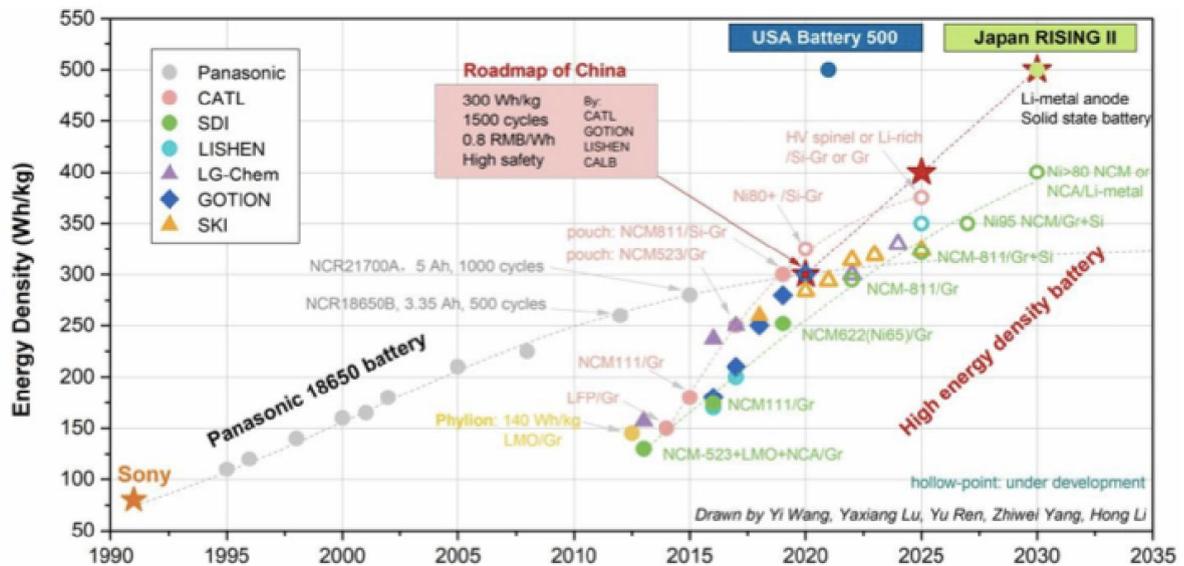


Figura 4. Evolución de la densidad de energía de las baterías hasta 2035

Hoy en día se busca sobre todo reducir el coste de las baterías de iones de litio y evitar materiales caros, tóxicos y de suministro crítico como es el cobalto, sin perder obviamente eficiencia. Por ejemplo, las baterías de polímero de iones de litio (LiPo) han reducido el peso y el coste de fabricación. Las baterías de litio hierro fosfato (LiFePO<sub>4</sub>) conocidas como LFP están evitando utilizar cobalto. Otro parámetro cada día más importante es que la carga se produzca lo más rápidamente posible y en esa línea las baterías LFP tipo olivino mejoran esa característica (dos horas para llegar al 85%) además de tener una vida más larga, pero el electrolito líquido es muy eficaz transportando electricidad pero no olvidemos que también es inflamable

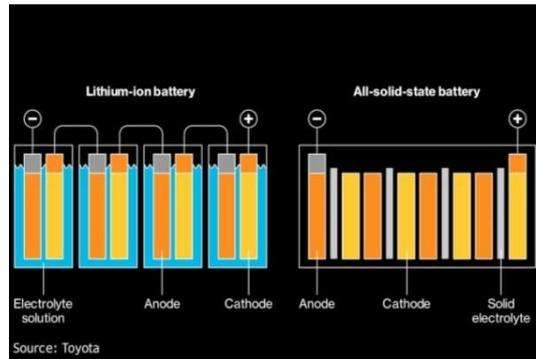


Figura 5. Esquemas de la batería de iones de litio y de la batería de estado sólido.

En 2015 la empresa norteamericana Tesla Inc reconocido fabricante de vehículos eléctricos presentó dos sistemas de almacenamiento distribuido de energía, el powerwall de 7 y de 10 kWh de capacidad de almacenamiento para la gestión de sistemas de autoconsumo doméstico y de pequeñas industrias y el powerpack de hasta GWh de capacidad para instalaciones mas grandes (sistemas híbridos, grandes parques eólicos, grandes centrales solares fotovoltaicas, etc.), ambos enfocados a gestionar de forma optimizada las energías renovables.



Figura 6. Chasis de un vehículo eléctrico Tesla con la batería integrada.

Son muchas las empresas que aspiran a revolucionar el mercado de las baterías con el electrolito sólido. Desde grandes multinacionales como Toyota, hasta pequeñas startups como Fisker o Dyson. Y es que el

fabricante conocido por sus aspiradoras se ha convertido en uno de los protagonistas de esta persecución de la tecnología que promete disparar la capacidad de las baterías

En 2017 Goodenough y su equipo de la Universidad de Texas presentaron la batería de estado sólido de bajo coste, no inflamable, con una larga vida en ciclos de carga, alta densidad energética y con altas velocidades de carga y descarga. En lugar de electrolito líquido la batería usa electrolito cristalizado no inflamable que permite el uso de un metal alcalino que evita la degradación del ánodo. Este tipo de baterías ofrecen mayor capacidad, tiene menor autodescarga y una mayor eficiencia ya que son frías (se calientan mucho menos que las de iones de litio) pero son algo mas pesadas. Por último, estas baterías de estado sólido abren la puerta a utilizar otros compuestos en su fabricación como ánodos y cátodos de silicio o incluso utilizar sodio o magnesio para eliminar el litio, materia prima que a largo plazo va a estar limitada.

En 2019 Goodenough, Whittingham y Yoshino lograron el Premio Nobel de Química por sus significativas aportaciones al desarrollo de las baterías recargables de iones de litio.

Como veis, la investigación en nuevos materiales y nuevas baterías continua ya que como hemos visto en el futuro la gestión de la energía renovables y la movilidad van a necesitar de baterías cada vez mas competitivas y eficaces.

## **Digitalización**

Para lograr que el sistema eléctrico sea eficaz con las nuevas tecnologías de generación basadas en energías renovables y variables en su mayoría y apoyadas mediante tecnologías de almacenamiento hace falta la digitalización del mismo.

Conocer en cada instante la energía que consumimos en nuestros hogares es vital para gestionar la generación y el transporte de energía de forma eficaz. Disponer de información que nos pueda facilitar la predicción de la demanda de energía nos permitirá adaptar el sistema o enviar señales de mercado para gestionar dicha demanda llevando la hacia los periodos de mayor generación eléctrica.

Pero cómo se logra eso, pues con la digitalización, la cual nos permite medir múltiples parámetros simultáneamente, con los que se pueden aplicar modelos que nos permitan tomar decisiones.

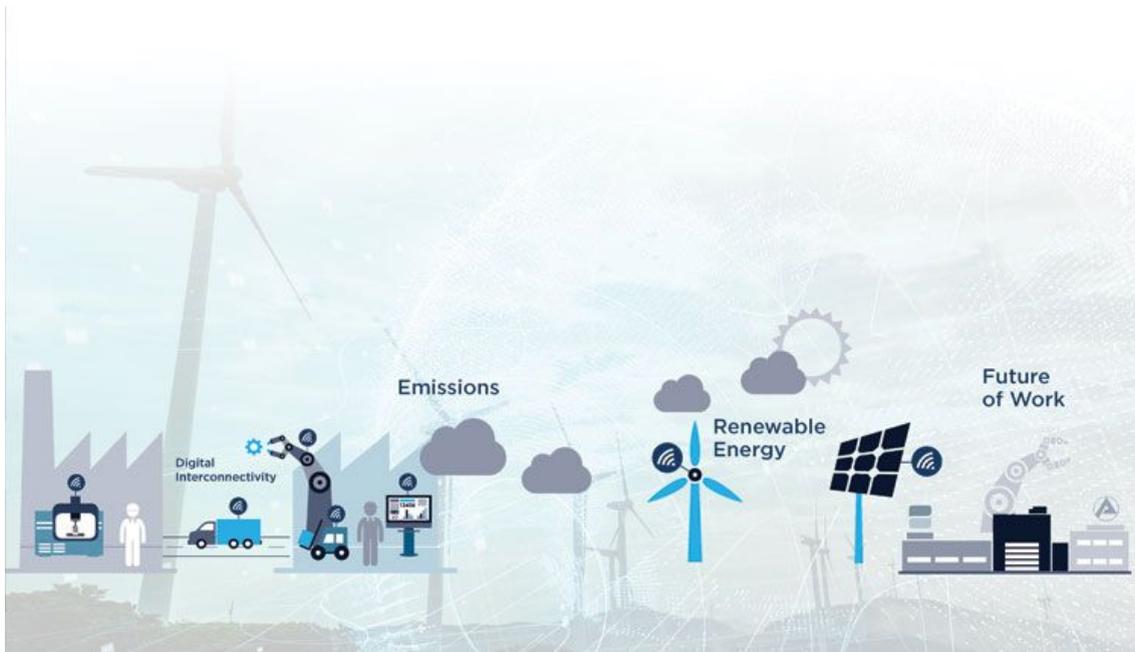


Figura 7. Digitalización de la energía

Por ejemplo, en España en todas las viviendas hay un cuadro eléctrico por donde se conectan nuestros equipos a la red eléctrica. En dicho cuadro siempre ha habido un contador de energía eléctrica que servía para saber cuánta energía eléctrica habíamos consumido en un determinado periodo de tiempo y obviamente para poder facturarnos la compañía eléctrica. Este contador antiguamente era un dispositivo electromecánico que hoy se ha cambiado por un contador electrónico inteligente o *-smart meter-*. Este nuevo dispositivo mide todos los parámetros de la red eléctrica en ese punto instantáneamente y es capaz de enviarlos a un centro de datos para su procesamiento y análisis. De esta forma tanto la compañía operadora como los usuarios de la red eléctrica podemos conocer nuestro consumo en todo instante.

Pero la digitalización de la red eléctrica va más allá que el contador inteligente, dispone de medidas eléctricas y protecciones digitales a lo largo de todas las líneas, transformadores, centrales de generación y también medidas meteorológicas que permita predecir los distintos recursos renovables (radiación solar, eólica, hidráulica, marina) y temperaturas para predecir la demanda de calefacción y refrigeración, de manera que se va a disponer de un número ingente de datos (*big data*) que hay que tratar de forma eficaz mediante técnicas de inteligencia artificial que ayuden a obtener con la rapidez necesaria conclusiones que permita tomar las decisiones adecuadas.

Todas estas herramientas nos ayudarán a operar y planificar de forma adecuada la red del futuro, especialmente cuando se incluyan en la

misma los nuevos sistemas como los sistemas de almacenamiento distribuido mediante baterías o los vehículos eléctricos.

En definitiva la digitalización nos permitirá llegar a lograr la red inteligente –Smart grid- necesaria para gestionar de forma óptima el sistema eléctrico del futuro

## **Electrolineras**

Una de las formas de descarbonización de la sociedad más necesaria para evitar a corto plazo el alto grado de polución en las grandes ciudades y a largo plazo el cambio climático global es la electrificación del transporte.

En España, según el Observatorio Europeo de Combustibles Alternativos (EAFO) en el año 2020 hay circulando unos 57.379 vehículos eléctricos entre solo eléctricos (32.076) e híbridos recargables (25.303) (el 0,20% del parque automovilístico que es aproximadamente de 28 millones de vehículos). Según la Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso de la Movilidad Eléctrica (AEDIVE), se prevé que en España el parque de vehículos eléctricos crezca de forma exponencial llegando a alcanzar los 8 millones de vehículos en 2040.



Figura 8. Electrolinera

Para poder llegar a esos objetivos además de vender muchos vehículos hay que desarrollar una red suficiente de electrolineras o estaciones de carga eléctrica tanto dentro de las ciudades como en las carreteras, que permitan cargar las baterías de los vehículos eléctricos con rapidez y fiabilidad evitando situaciones de descarga límite.

Hoy en día, ya se comienzan a ver cargadores eléctricos en las calles, en los aparcamientos de las casas, en los aparcamientos de los hipermercados, en los aparcamientos de las empresas, en los

aparcamientos públicos y privados especialmente de las grandes ciudades, pero también se comienzan a instalar en las gasolineras, en los hoteles, en las áreas de descanso de las autopistas, por lo que poco a poco se va desarrollando una red de electrolineras con cargadores de distinta potencia que hay que acelerar.

Pero es importante lograr que la energía eléctrica con la que se carga la batería del vehículo provenga de fuentes de energías limpias, para lo cual la gestión del sistema eléctrico tiene que ser inteligente ya que tiene que disponer de la energía eléctrica que sea necesaria en el momento que el usuario decide cargar su batería.

La mayoría de las compañías eléctricas del país están trabajando en el desarrollo de esas redes de electrolineras que permitan a los usuarios disponer de vehículo eléctrico no solo para ir de casa al trabajo sino también poder hacer viajes de largo recorrido con la seguridad de que va a encontrar suficiente puntos de carga.

Según el observatorio europeo de combustibles alternativos, en Europa en la actualidad hay más de 200.000 puntos de recarga para coches eléctricos, la mayoría, unos 180.000 son cargadores normales (<22 kW) y unos 21000 cargadores rápidos (>22 kW)

Holanda es el líder europeo con más de 61.000 puntos de recarga públicos, después está Francia con más de 44.000 y Alemania con más de 42.000 cargadores públicos. Después está Italia con algo más de 13.000 y Suecia con algo más de 12.600. España dispone de 7.738 estaciones de carga eléctrica. Probablemente, la forma de vida en España, con grandes distancias con amplias zonas muy poco pobladas, no facilite el desarrollo de una red de estaciones de carga muy densa. El desarrollo se centrará en las grandes ciudades y a lo largo de las principales autovías y autopistas pero es evidente que hay que desarrollarlo y cuanto antes.

### **Vehículos eléctricos de uso personal**

En Europa hay casi 270 millones de vehículos de pasajeros, con una población de 508 millones de personas, o sea hay algo más de un vehículo por cada dos personas.

En Europa en 2020 hay más de 1,34 millones de vehículos eléctricos (737.735 vehículos de baterías y 609.916 vehículos híbridos recargables). (0,48% del total de vehículos).

Ya se ha comentado que la situación de despliegue en España del vehículo eléctrico tanto de baterías como híbrido recargable es todavía limitado si comparamos con otros países.

Mientras que en España hay 57.379 vehículos eléctricos, Noruega con 421.000 vehículos eléctricos es el país más electrificado en movilidad, pero Reino Unido dispone de casi seis veces más vehículos eléctricos con unos 322.000, así como Alemania con unos 300.000 vehículos eléctricos y Francia con casi 275.000. En Holanda, con menos de la mitad de población hay casi 250.000 vehículos eléctricos. Italia con 55.288 vehículos eléctricos está en una situación de despliegue similar a España

### **Vehículos eléctricos de transporte colectivo.**

El transporte colectivo especialmente en las grandes ciudades lleva años electrificándose. Comenzó con el metro en Madrid en 1919 y en Barcelona en 1924, los trolebuses o autobús eléctrico alimentado a través de una línea aérea de cables en catenaria o los tranvías y se ha continuado con los metros ligeros, los trenes de cercanías y los autobuses eléctricos con baterías.

La tecnología más avanzada de transporte colectivo sin emisiones es el autobús eléctrico mediante baterías.

Existen en la actualidad múltiples fabricantes de autobuses eléctricos con uno o dos motores y distinta tecnología de carga (por enchufe o por pantógrafo) y distinta tecnología de baterías (Iones de litio NM, titanato de litio LTO, etc.)

Por ejemplo, los últimos autobuses incorporados a la empresa municipal de transporte de Madrid, son de la marca china BYD y están propulsados por dos motores de 150 kW cada uno. Cada uno dispone de su batería de ferrofosfato de litio. Dispone de una autonomía media (depende del tipo de conducción y de las condiciones meteorológicas) de 300 Km y la carga se realiza en cuatro horas



Figura 9. Autobús urbano eléctrico

Una opción en alza son los autobuses híbridos con batería de iones de litio e hidrógeno comprimido con pila de combustible. Por ejemplo la compañía CAF fabrica un modelo de autobús de la marca Solaris con dos motores eléctricos de 110 KW cada uno y una pila de combustible de 70 kW alimentada mediante 5 botellas de material compuesto con 312 litros de hidrógeno

Hoy en día hay ya autobuses urbanos de gran capacidad (146 pasajeros), normalmente con dos motores eléctricos de hasta 340 CV de potencia total y 980 Nm de Par motor con baterías de iones de litio NMC de hasta 296 kWh de capacidad o en el futuro novedosas baterías de electrolito sólido de hasta 441 kWh de capacidad.

### **Preguntas y cuestiones de debate.**

En este apartado os propongo una serie de preguntas y cuestiones para que iniciéis una exploración en busca de algún descubrimiento que os permita decidir de forma objetiva vuestra respuesta.

- 1) ¿Consideras que la electrificación de la energía es vital para lograr descarbonizar la sociedad? ¿Por qué?

- 2) ¿Qué nivel de electrificación de la sociedad crees que se puede alcanzar en España los próximos 30 años? ¿Consideras que con la tecnología actual es suficiente o hay que explorar nuevos campos?
- 3) Para lograr ser neutrales en emisiones de carbono, que crees que es más importante, desarrollar nuevas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, desarrollar nuevas soluciones de almacenamiento de energía, desarrollar nuevas tecnologías para climatización, desarrollar nuevas técnicas de digitalización, desarrollar nuevos vehículos eléctricos más eficaces (levitación, hyperloop, etc.)
- 4) Si en el año 2050 se logra alcanzar una generación con energía limpia del 100% mediante el uso masivo de energías renovables, crees que habrá sobre generación de energía en determinados periodos? Cómo crees que se puede aprovechar esa energía.
- 5) Para lograr la electrificación de forma óptima hay que adaptar también la demanda a los periodos de mayor generación. ¿Cómo crees que se puede hacer esta gestión de la demanda? ¿Mediante los precios horarios de la energía? ¿Con electrodomésticos inteligentes que se conecten o se desconecten a la red en función del precio de la energía? Instalando una batería en casa?
- 6) La bomba de calor geotérmica es una solución óptima para la descarbonización de la calefacción y la refrigeración de las viviendas. ¿Por qué crees que no se impone frente al gas natural? ¿Por su alto coste? ¿Por la dificultad de instalar las sondas en ciudades?
- 7) ¿Crees que quedan más sectores por electrificar? ¿Crees que se puede electrificar la agricultura, la electrificación rural, el calor industrial?
- 8) ¿Crees que la red eléctrica del futuro tiene que ser de otra manera si se quiere llegar a la máxima electrificación con energías?
- 9) En el futuro con la aplicación de las tecnologías de la información y comunicación TICs, las comunicaciones G5, con la denominada internet de las cosas para optimizar la electrificación de la

sociedad, se va a disponer de una gran cantidad de datos que habrá que analizar ¿Crees que el desarrollo futuro de las técnicas de inteligencia artificial facilitarían dicha gestión?

- 10) La electrificación de la sociedad incluye el empoderamiento de la misma en términos de energía aprovechando las posibilidades disponibles de autogeneración, autoconsumo y autogestión de la energía de la sociedad. ¿Cómo ves el futuro en términos de intercambio de energía entre grandes centrales productoras y consumidores de todo tipo, entre usuarios con capacidad de producción (prosumidores) y usuarios sin capacidad de producción, etc.? ¿Crees que habrá que establecer nuevas regulaciones? ¿Crees que habrá que establecer nuevas reglas de mercado? ¿Cómo crees que habrá que planificar la red eléctrica del futuro?

## **Bibliografía**

Recursos disponibles relacionados con el tema en la base de datos en programa Iberdrola I+D+i correspondiente a anteriores ediciones (<http://www.programainvestiga.org>):

- Guía específica de trabajo sobre "la energía eólica marina". (Edición 2019-2020).
- Guía específica de trabajo sobre "la movilidad eléctrica es la clave del modelo cero emisiones?" (Edición 2018-2019).
- Guía introductoria al tema 'Generación Distribuida' (Edición 2017-2018).
- Guía introductoria al tema "Vehículo eléctrico o vehículo a hidrógeno. Una decisión estratégica"( Edición 2015-2016)
- Guía introductoria al tema 'CO2 y Cambio Climático (Edición 2016-2017).
- Combustibles para el futuro. Presentación y Guía (Edición 2011-2012).
- El almacenamiento de Energía. Presentación (Edición 2010-2011).

Otros recursos:

- IDAE. Guía Técnica para el diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado (2012)  
[file:///C:/Users/u4481/Downloads/documentos\\_14\\_Guia\\_tecnica\\_diseno\\_de\\_sistemas\\_de\\_intercambio\\_geotermico\\_de\\_circuito\\_cerrado\\_1d03dc08.pdf](file:///C:/Users/u4481/Downloads/documentos_14_Guia_tecnica_diseno_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado_1d03dc08.pdf)
- IDAE Vehículos y tecnologías alternativas:  
<http://coches.idae.es/portal/CombustiblesAlternativos/CombustiblesAlternativos.aspx>
- Guía Básica de la Generación Distribuida. Comunidad de Madrid. 2007. <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM005776.pdf>
- Smart Grids y la evolución de la red eléctrica. Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones. 2011.  
[http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federacion%20de%20Entidades%20de%20Innovacion%20y%20Tecnologia/SMART\\_GRIDS\\_Y\\_EVOLUCION\\_DE\\_LA\\_RED\\_ELECTRICA.pdf](http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federacion%20de%20Entidades%20de%20Innovacion%20y%20Tecnologia/SMART_GRIDS_Y_EVOLUCION_DE_LA_RED_ELECTRICA.pdf)
- Guía del vehículo eléctrico. Comunidad de Madrid 2015  
<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-del-Vehiculo-Elctrico-II-fenercom-2015.pdf>
- Proyectos emblemáticos en el ámbito de la energía geotérmica. Comunidad de Madrid 2017  
[https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2017/05/Proyectos-Emblematicos-en-el-Ambito-de-la-Energia-Geotermica-IV\\_fenercom-2017.pdf](https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2017/05/Proyectos-Emblematicos-en-el-Ambito-de-la-Energia-Geotermica-IV_fenercom-2017.pdf)
- AEDIVE Asociación empresarial para el desarrollo e impulso del vehículo eléctrico. <http://aedive.es/>
- AUVE Asociación de usuarios del vehículo eléctrico [www.auve.org](http://www.auve.org)
- Movilidad Eléctrica <https://movilidadelectrica.com/>
- Páginas web de las compañías eléctricas y otros agentes del sector eléctrico, (la mayoría de las grandes compañías eléctricas así como el operador del sistema, han desarrollado actividades para la promoción de vehículo eléctrico y los sistemas de recarga, en particular se puede encontrar información en las páginas de ENDESA y RED ELECTRICA DE ESPAÑA).
- Páginas Web de los fabricantes de automóviles (sin pretender ser exclusivo al menos los siguientes fabricantes han desarrollado modelos de vehículos eléctricos tanto de baterías como de pilas de

combustible: RENAULT, NISSAN, BMW, PSA PEUGEOT CITROEN, TOYOTA, HONDA, TESLA etc.

- Informe Deloitte "Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050".  
<https://perspectivas.deloitte.com/descarbonizacion-transporte>
- Oficina Española de Patentes y Marcas. Vigilancia tecnológica. Boletín vehículo eléctrico.  
[https://www.oepm.es/export/sites/oepm/comun/documentos\\_relacionados/Boletines/Coche\\_electrico/CocheElec332018.pdf](https://www.oepm.es/export/sites/oepm/comun/documentos_relacionados/Boletines/Coche_electrico/CocheElec332018.pdf)
- Greenpeace. Desarrollo de recomendaciones políticas para aprovechar el potencial climático de los vehículos eléctrico  
<https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/presentacion-informe-vehiculos.pdf>.
- <http://www.energiaysociedad.es/manenergia/1-2-historia-de-la-electricidad-en-espana/>
- <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/bomba-de-calor.html>
- <https://www.aege.es/quienes-somos/el-sector-electrointensivo-en-espana/>

### **Información sobre técnicas, métodos y recursos materiales de base en Internet**

- [www.futured.es](http://www.futured.es)
- [consume.fenie.es](http://consume.fenie.es)
- [www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)
- [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)
- <https://www.afec.es/es/>
- <https://www.atecyr.org/>
- <https://www.aege.es/>
- <https://www.eafo.eu/>