

# Una aproximación al vehículo eléctrico desde la química

 **Ana Isabel Elduque**

Decana del Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra

 **Juan José Ortega**

Tesorero del Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra

## Resumen

Los vehículos eléctricos son parte fundamental del nuevo modelo de movilidad, esto es, de un nuevo modo de transporte más sostenible. Este cambio requiere nuevas tecnologías y nuevos materiales que cubran las necesidades, que sean más respetuosos con el entorno actual y futuro durante todo su ciclo de vida. Sin nuevas tecnologías y sin nuevos materiales no será posible alcanzar las metas deseadas. Estamos solo en los albores de la nueva movilidad y no es posible considerar que se ha alcanzado la madurez necesaria. La investigación científica y tecnológica pueden acelerar este cambio y la química, como ciencia básica y aplicada, tiene un importante papel que jugar en él.

## Palabras Clave

Nueva movilidad, vehículo eléctrico, baterías, cátodos, ánodos, nuevos materiales, reciclado



## Introducción

La movilidad y los medios de locomoción son uno de los paradigmas de la capacidad del desarrollo tecnológico del ser humano.

El automóvil es una industria muy disruptiva y de carácter global. En la figura 1 se muestra la distribución mundial de la producción en el año 2022.

La producción es una generadora de nuevas formas de innovación industrial. La robotización de las instalaciones, los nuevos materiales y la propulsión eléctrica son claros ejemplos.

## La nueva movilidad

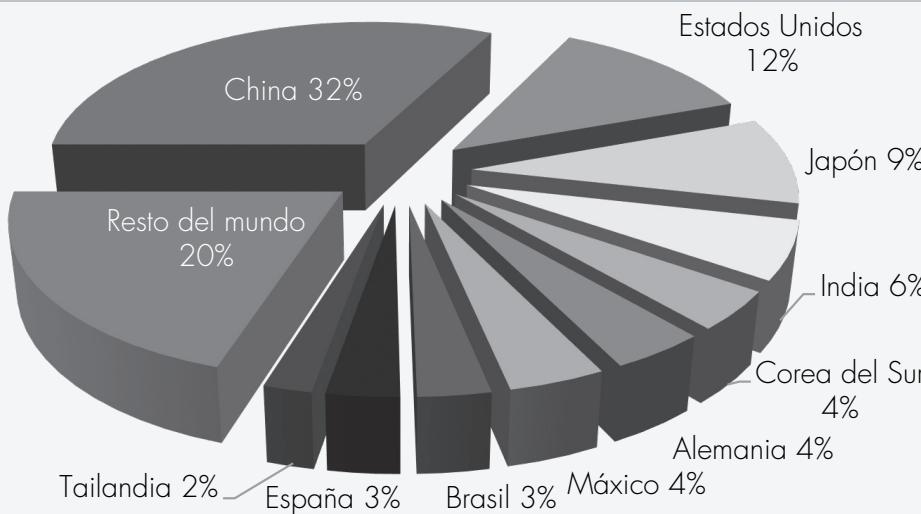
El siglo XXI nos exige un cambio. La nueva movilidad requiere que se tengan en cuenta nuevos factores y limitaciones. Pero la movilidad individual va a seguir siendo la principal solución para satisfacer las necesidades de transporte, visto que los sistemas colectivos no pueden ofrecer soluciones individualizadas.

Un vehículo debe satisfacer la necesidad de movilidad de personas y mercancías, a la vez que debe ser asequible. Este requerimiento doble es lo que permite que un producto sea exitoso. Los condicionantes más destacados son:

- Restricciones temporales (*Time To Market*): aprovechar la ventaja de una innovación.
- Restricciones económicas.
- Limitaciones técnicas. Muchas innovaciones son, en realidad, mejoras de diseños existentes y están basadas en la experiencia.
- Restricciones de comodidad. La movilidad debe venir acompañada de un elevado factor de comodidad, de un entorno amigable.

Una conclusión que podemos obtener es que el desarrollo de un nuevo modelo de movilidad es un reto profundamente multidisciplinar.

**Figura 1. Distribución de la producción de vehículos (2022) por países**



Fuente: OICA.

## El vehículo eléctrico

Es un consenso general es que la nueva movilidad exige nuevos vehículos que estarán propulsados de una forma diferente.

Si hay una causa que destaca como motor del vehículo eléctrico (VE), es la emisión de gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$  fundamentalmente) y otras emisiones causantes de la polución del aire urbano, smog fotoquímico ( $\text{NO}_x$ , partículas en suspensión,  $\text{SO}_2$  e hidrocarburos). Solo en la Unión Europea, los vehículos de pasajeros producen el 12% de las emisiones de  $\text{CO}_2$ .

Los VE (vehículo eléctrico) desarrollados hasta la fecha se agrupan en cinco grandes tipos.

- Híbrido asistido, MHEV (*Mild Hybrid Electric Vehicle*). Dispone de motor de combustión interna asociado a un motor eléctrico auxiliar. No se puede conectar a la red ni puede funcionar 100% en modo eléctrico.
- Híbrido, HEV (*Hybrid Electric Vehicle*). Intercala un motor eléctrico en la cadena cinemática para asistir al motor de combustión. Puede moverse en modo 100% eléctrico, pero su autonomía es limitada.
- Híbrido enchufable, PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*). Tiene un motor de combustión acompañado de uno o varios motores eléctricos. Las recargas se hacen mediante conexión a la red eléctrica.
- Eléctrico de baterías, BEV (*Battery Electric Vehicle*). El motor eléctrico que propulsa el coche obtiene la energía de sus baterías directamente. La recarga de estas se realiza por medio de conexión a la red.

– Eléctrico de celdas de combustible, FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*). La pila de hidrógeno genera electricidad mediante la electrólisis del hidrógeno, que solo emite  $\text{H}_2\text{O}$ , según la reacción  $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ . El problema radica en la dificultad del manejo del hidrógeno.

El mercado de vehículos eléctricos está experimentando un enorme crecimiento. Según la *International Energy Agency (Global EV Outlook 2023)*, la cuota de mercado de nuevas ventas fue del 5% en 2020, del 9% en 2021, del 14% en 2022, más de 10 millones de vehículos, y se espera el 18% en 2023, 14 millones de unidades. Para el año 2030 se espera que la cuota de mercado alcance el 60%.

Los vehículos eléctricos están en desarrollo y su tecnología no puede considerarse terminada. Se enfrentan al problema del almacenamiento de energía, imprescindible para la autonomía del vehículo. Una batería convencional de plomo tiene una densidad de energía por debajo de  $100 \frac{\text{Wh}}{\text{l}}$  y una energía específica menor de  $50 \frac{\text{Wh}}{\text{Kg}}$ . En el caso de las baterías de ion litio, las más utilizadas en VE, los valores superan los  $200 \frac{\text{Wh}}{\text{l}}$  y  $125 \frac{\text{Wh}}{\text{Kg}}$ , es decir, la masa necesaria para transportar el vehículo es mucho menor. La desventaja es que un VE debe disponer del 100% de la energía en la batería, mientras que en un vehículo de combustión la energía se almacena y se transporta en el tanque de combustible. Esto permite una autonomía muy superior a la proporcionada por una batería, siendo posible la recarga de combustible líquido en minutos.

Por tanto, los VE se enfrentan a unos retos tecnológicos propios que se resumen en la figura 2, según el tipo de VE.

**Figura 2. Retos tecnológicos actuales según el tipo de VE**

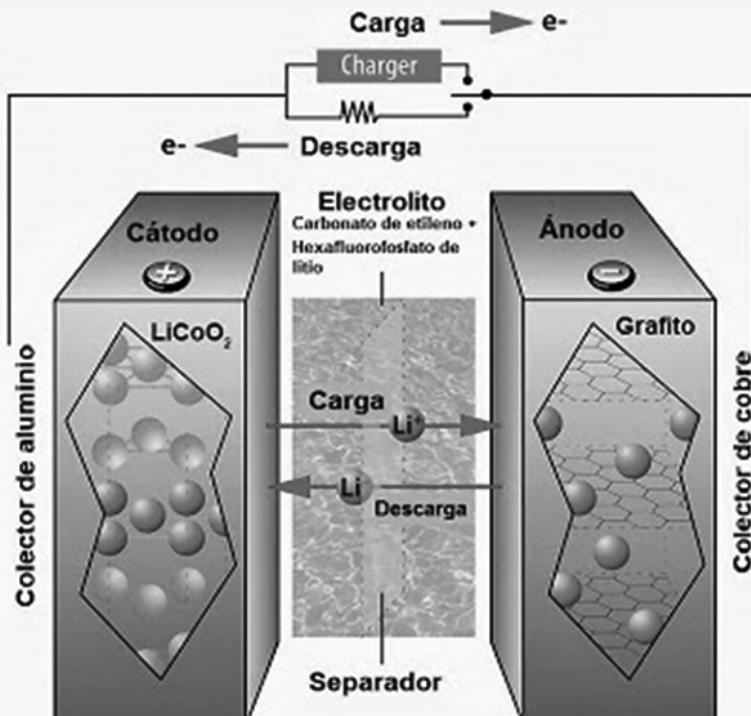
TIPO DE VE	RETOS TECNOLÓGICOS
Híbridos asistidos MHEV <i>Mild Hybrid Electric Vehicle</i>	Desarrollo de baterías de 48 V
Híbridos HEV <i>Hybrid Electric Vehicle</i>	Almacenamiento de energía Motores eléctricos más eficientes Electrónica de potencia
Híbridos enchufables PHEV <i>Plugin Hybrid Electric Vehicles</i>	Almacenamiento de energía Motores eléctricos más eficientes Electrónica de potencia Infraestructura de recarga
Eléctrico de baterías BEV <i>Battery Electric Vehicle</i>	Almacenamiento de energía Motores eléctricos más eficientes Electrónica de potencia Infraestructura de recarga
De celdas de combustible FCEV <i>Fuel Cell Electric Vehicle</i>	Tecnología de fabricación de celdas de combustible Almacenamiento de energía Infraestructura de recarga de combustible

### Baterías

Las baterías son un elemento esencial del VE ya que son el almacén de energía y la fuente de alimentación del motor. Es un dispositivo que almacena la electricidad en forma de energía química y que es capaz de suministrarla a demanda de forma controlada. Cuando se invierte el proceso, recarga, una batería es capaz de convertir la energía recibida a energía química y poder continuar así un nuevo ciclo. Las baterías convencionales necesarias en los VE hubieran aumentado el peso en más de una tonelada para una autonomía de unas pocas decenas de kilómetros.

Las baterías están compuestas por unidades electroquímicas, celdas, en las que se producen las reacciones de oxidación y reducción que ponen en movimiento los electrones hacia el motor-consumidor (descarga) o para recibirlas de la red (carga) y almacenarlos en forma de componentes

químicos. En la figura 3 se muestra el esquema de una celda. El voltaje de la celda viene determinado por su electroquímica. Como el consumidor (motor) puede necesitar la energía eléctrica con otras características que la producida por la celda, se conectan varias celdas hasta formar un conjunto que proporcione la energía en la forma conveniente, que es lo que propiamente llamamos batería. El funcionamiento de una celda电解质 cuando está alimentando un motor (descarga) es un bombeo de electrones desde la celda, mientras que en el proceso de carga lo que ocurre es que una fuente exterior (red eléctrica) suministra los electrones a la celda. Como todo circuito eléctrico, su funcionamiento requiere que este movimiento de cargas eléctricas se compense, que es lo que ocurre a través del electrolito con el flujo de iones Li+. En la figura 4 se resumen los procesos electroquímicos que tienen lugar en la celda y cómo fluyen

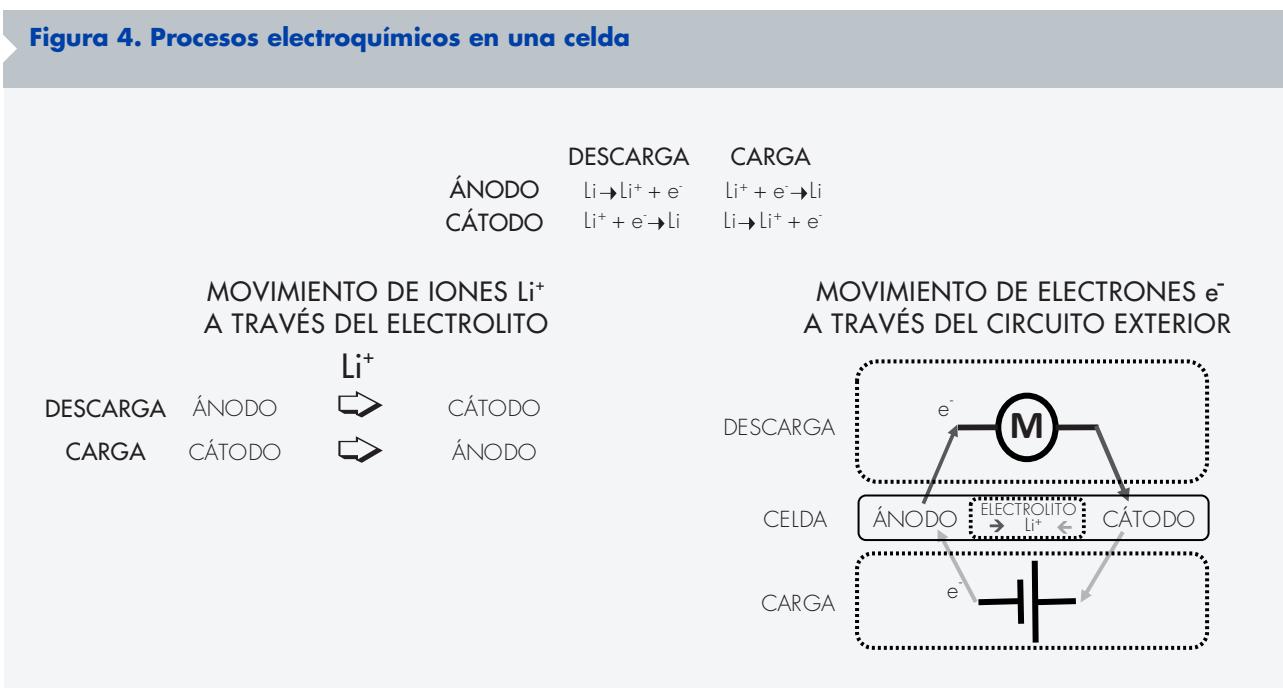
**Figura 3. Esquema de una celda de una batería de ion-Li**

los electrones durante la carga y la descarga.

Un problema que hay que resolver es la duración de la batería. Las baterías de plomo suelen tener una vida de algo más de 1.000 ciclos de carga y descarga, proceso que ocurre durante la marcha, el alternador la recarga, y no somos conscientes de ello. Una batería de plomo dura un tiempo máximo y, pasado ese tiempo, se debe sustituir. En el caso del VE esto es diferente. Los VE que no son enchufables, MHEV y HEV, la carga de la batería se hace de forma similar a lo explicado, pero se incorporan dispositivos adicionales para ayudar a la carga, como los frenos regenerativos. En los vehículos enchufables, PHEV y BEV, es imprescindible que la batería permita un número muy elevado de recargas, ya que es la única fuente de energía. Actualmente, las baterías de Li ya están ofreciendo vidas de más de 3.000 ciclos, lo que supone que,

en modos de conducción promedio, una batería de Li puede tener una duración equivalente a dos baterías de plomo. Las cifras de ciclo de vida de las baterías de Li parecen muy prometedoras, pero hay que mejorar su desempeño. Para evitar un consumo elevado del motor en regímenes de funcionamiento muy alejados del óptimo, como se produce habitualmente durante la conducción urbana, los VE disponen de unos sistemas electrónicos de gestión de la energía.

El segundo aspecto técnico que afecta al funcionamiento de las baterías es la capacidad de recarga. Las reacciones químicas mostradas parecen que pueden llevarse a cabo de forma indefinida. En química se denomina a este tipo de reacciones como reversibles. La realidad es que estos procesos no son absolutamente reversibles. En cada ciclo de carga y descarga se producen otras reacciones químicas que reducen la capacidad.

**Figura 4. Procesos electroquímicos en una celda**

En estas reacciones, los elementos activos van sufriendo un proceso de envejecimiento. Conforme se dificultan las reacciones electrolíticas, se transforma cada vez más energía en calor, en detrimento de energía eléctrica. Al final, es necesario sustituir la batería por otra nueva. Un factor muy importante para la recarga es el tiempo de la esta. Al principio, las baterías requerían tiempos muy largos, hasta 8 horas, lo cual limita el uso interurbano del VE. Esto se debe a que la energía suministrada por el cargador no debe superar un determinado umbral, ya que por encima de este las reacciones químicas indeseadas se producen en mayor cuantía. Hoy en día existen en el mercado baterías que permiten recargar el 50% de la capacidad de la batería en 30 minutos, reduciéndose a una hora el tiempo necesario para una carga completa.

### Fabricación de baterías para VE

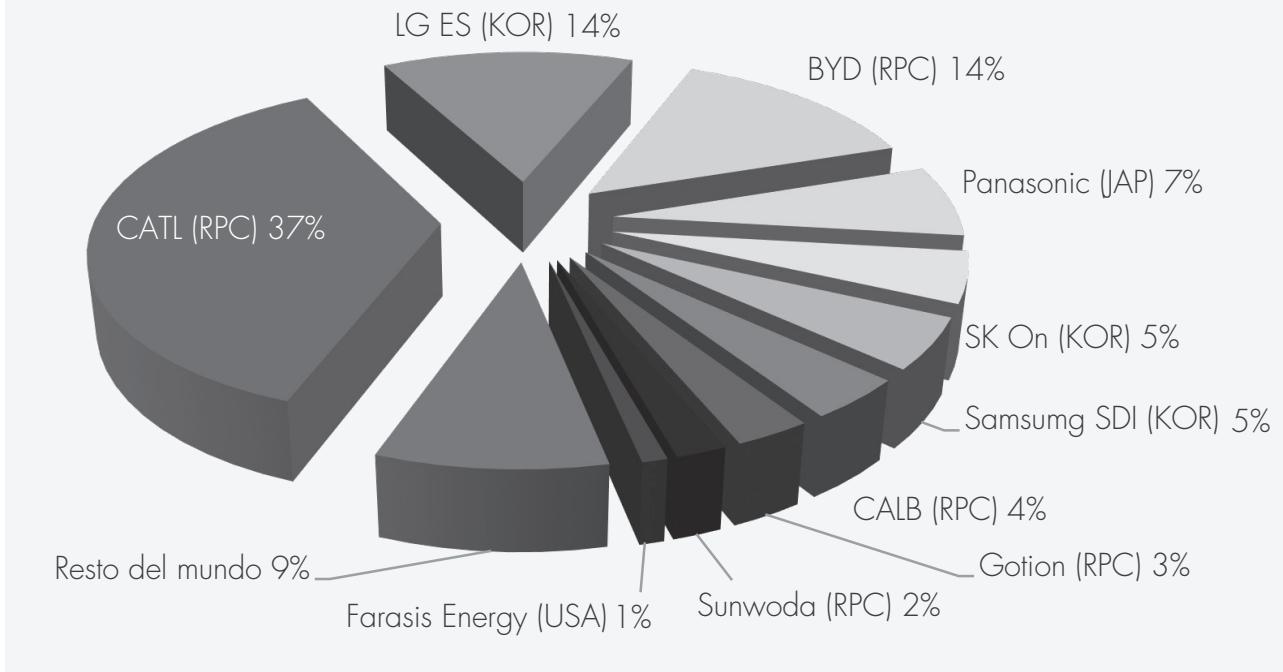
Una de las cuestiones en el desarrollo de VE es la capacidad de producir las baterías necesarias sin generar escasez de materias primas.

Existe un enorme desequilibrio en la manufactura de baterías. En la figura 5 se muestra la cuota de mercado de los principales fabricantes durante el año 2022. La concentración se debe a que Japón es el país que antes comenzó la comercialización de VE, siendo dominantes en los tipos MHEV y HEV. En el caso de China, el impulso gubernamental es clave, lo que no ocurre en Europa y EE.UU. Corea aprovecha ser uno de los principales proveedores del mercado chino de automoción.

El otro factor que ha facilitado la creación de gigantes asiáticos en el sector de las baterías es la estrecha relación que existe con el mundo de los dispositivos electrónicos. Hace tiempo que Asia es el proveedor mundial de equipos para TICs, lo que les ha permitido adquirir el know-how necesario. Las baterías de un VE tienen los mismos principios que las baterías de un teléfono móvil u otros dispositivos y su fabricación es un sector con una curva de aprendizaje muy pronunciada, lo que confiere ventajas competitivas.

En los últimos tiempos parece que se ha despertado el interés en Europa y

**Figura 5. Cuota de mercado en 2022 de los principales fabricantes de baterías para VE**  
**RPC: China; KOR: Corea; JAP: Japón; USA: EE.UU.**



Fuente SNE Research, vía Bloomberg

EE.UU. para disponer de un sector propio de fabricación de baterías, pero basado en nuevas tecnologías. En Europa, la Net Zero Industry Act, promovida por la UE en marzo de 2023, propone fabricar el 90% de las baterías dentro de la Unión en el año 2030.

Un VE medio, con una batería de ion-litio, contiene unos 8 kg de litio, 35 kg de níquel, 20 kg de manganeso y 14 kg de cobalto (Argonne National Laboratory). Con las cifras de ventas del año 2022, estos consumos equivalieron al 60% de la demanda mundial de litio, el 30% de la de cobalto y el 10% de la de níquel.

## El sector de ahora en adelante

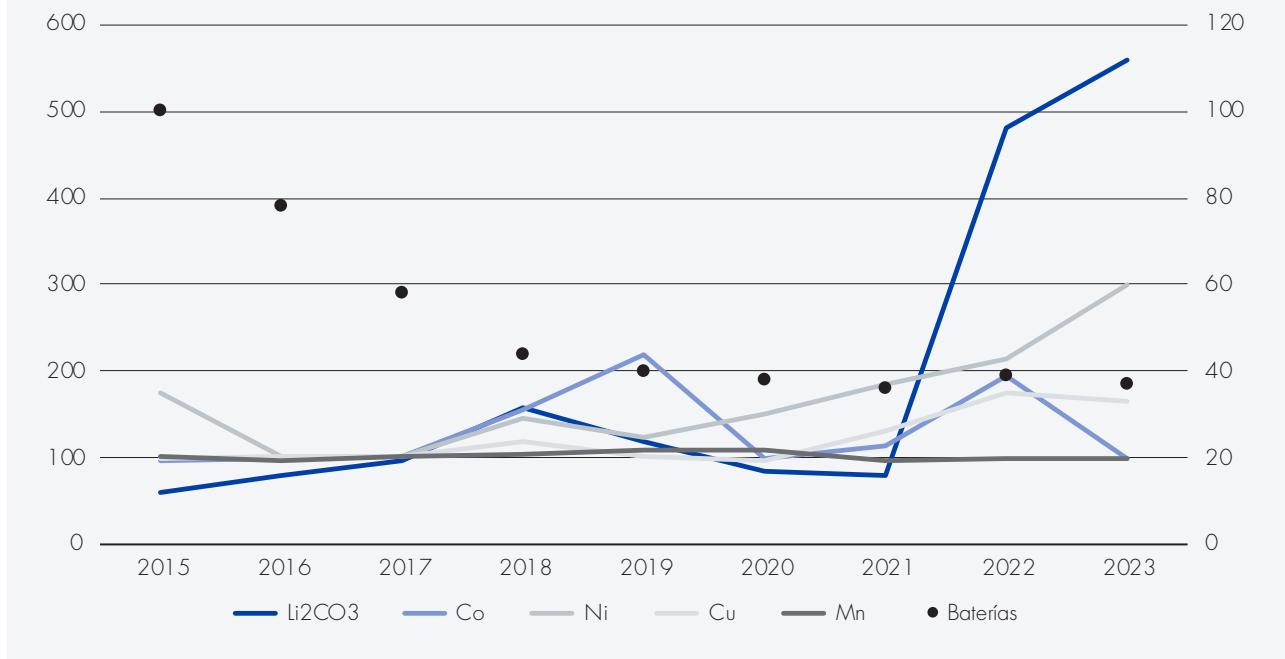
Hasta la fecha, las baterías se agrupan en tres grandes clases, según el cátodo usado:

- De óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto, NMC. En 2022 supusieron el 60% de las baterías fabricadas.
- De fosfato de litio y hierro, LFP, cuya cuota fue del 30%.
- De óxido de níquel, cobalto y aluminio, NCA, con una cuota del 8%.

El litio en sí mismo no es un recurso escaso. Lo que se espera es que, al menos hasta el 2030, pueda haber suministros irregulares y oscilaciones en precios debido a que la actual capacidad de producción es insuficiente para abastecer a millones de baterías. Esta estimación se basa en suponer que no se produzca ningún cambio de tecnología que reduzca el consumo de litio y, sobre todo, que el reciclado de las baterías de VE no proporcione un litio más barato que el obtenido de mina, lo sucede hoy en día y desincentiva el reciclaje como fuente de suministro. Las actuales reservas declaradas de 21 millones de



**Figura 6. Índices de precios de elementos críticos (escala izquierda, 2017=100) y de baterías (escala derecha, 2015=100).**



Fuente: Bloomberg NEF 2022 Lithium-ion Battery Price Survey.

toneladas (US Geological Survey) corresponden a las que, a los precios actuales, son rentables.

Los temores de cortes de suministro proceden especialmente del cobalto. El cátodo de las actuales baterías está formado por un óxido doble de litio y cobalto. Dos terceras partes del cobalto se producen en la República Democrática del Congo y están incluidas en el listado de Conflict Minerals. Se está buscando la sustitución del cobalto por níquel que, aunque es un metal caro, no presenta tantos problemas de obtención.

En los últimos años, los elementos críticos han sufrido variaciones de precios en los mercados, siendo las más notables las del litio y las del níquel. Pero el aumento de la producción de baterías ha sido capaz de reducir el precio final de estas, comparados con los de hace menos de una década (ver figura 6).

También se está trabajando en otras líneas para conseguir mejoras en los rendimientos. Una de estas líneas es facilitar las operaciones de desensamblado y reciclado para que los materiales recuperados sean más competitivos que los de primera fabricación.

Otra línea de trabajo se basa en que los procesos electroquímicos tienen lugar fundamentalmente en la superficie de los elementos activos. Se están desarrollando tratamientos superficiales para ánodos y cátodos que mejoran la eficiencia de la transformación y alargan la vida de la batería.

Dado el gran crecimiento que ha tenido el mercado en los últimos años, los cambios tecnológicos de las baterías se están acelerando notablemente. Los principales desarrollos son los siguientes:

- Reducción y eliminación de cobalto en el cátodo y de otros metales, como níquel: desarrollo de distintos

tipos de baterías de la familia NMC y el aumento del uso de baterías LFP, que no usan ni níquel ni cobalto.

- Desarrollo de baterías basadas en otros elementos diferentes al litio, como las baterías de ion sodio, aunque disponen de menor densidad de energía. A pesar de esto, su menor coste puede hacerlas adecuadas para uso urbano que no precisa una gran autonomía.
- Se están produciendo desarrollos importantes en materiales para ánodos basados en silicio y silicio dopado para reducir y eliminar el grafito, lo cual reduce el peso de la batería y aumenta su densidad de energía. Hoy, del orden del 30% de las baterías producidas usan estas tecnologías.

Las baterías están en continua evolución siguiendo diferentes estrategias. Han sido publicadas numerosas investigaciones de las que destacan:

- Ánodos de fibra de carbono más efectivos que los de grafito.
- Nanotubos de carbono y micropartículas mesoporosas de silicio.
- Uso de compuestos orgánicos que permiten cargas muy rápidas.
- Nanoconexiones de oro para baterías con una vida de hasta 20.000 ciclos.
- Uso de sulfuros superiónicos para baterías de carga ultrarrápida.
- Baterías de cinc-aire incombustibles.
- Uso de grafeno para electrolitos.
- Baterías de aluminio-aire con una autonomía superior a 1.000 millas.
- Recarga sin conexión.

## Materiales

Además de los citados en el apartado de baterías, los VE utilizan otros elementos y materiales, no comunes en los vehículos convencionales. Destacan:

- Tierras raras, fundamentalmente neodimio, dispropasio y samario, para los imanes permanentes de los motores eléctricos.
- Fibra de carbono y otros materiales ligeros para carrocerías, chasis y otros elementos estructurales y los electrodos de los FCEV.

Los motores usados en los VE son de imanes permanentes sin escobillas (Brushless Permanent Magnets, BPM). Los imanes permanentes están fabricados en base a los elementos lanthanidos, o tierras raras. Aunque hoy China controla el 80% de la producción de tierras raras, los depósitos no son escasos, existiendo yacimientos en EE.UU., Australia, Brasil, India y otros países.

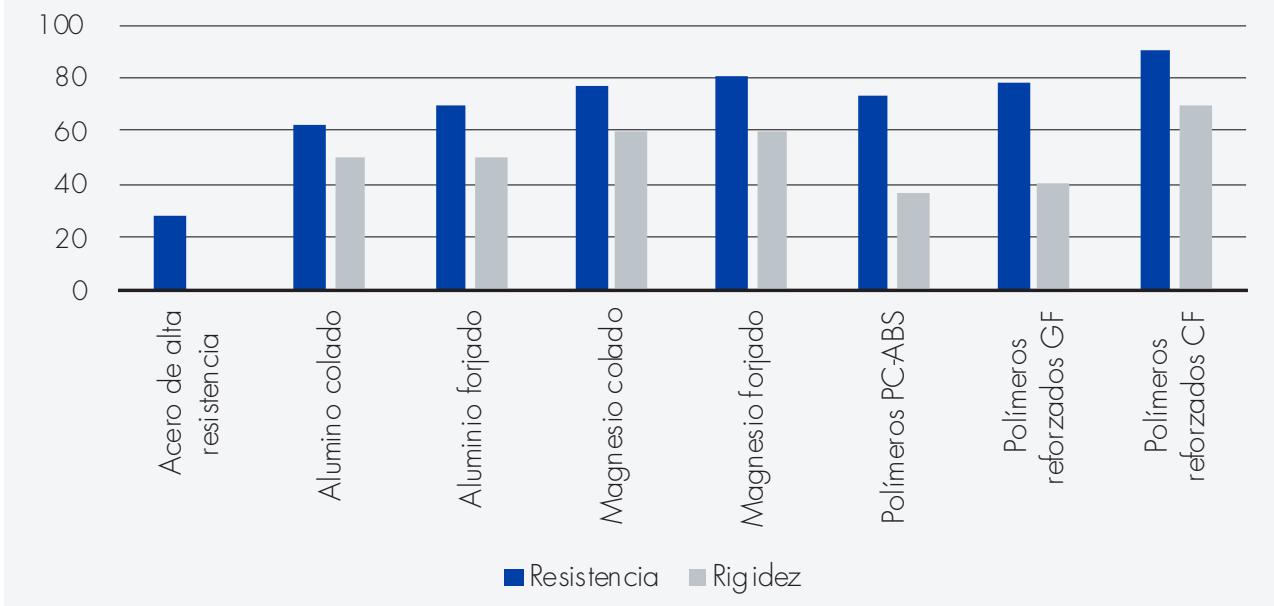
Otra necesidad es disponer de equipos de electrónica, lo que aumenta la presión sobre el mercado de semiconductores. La nueva tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) requiere algún elemento no muy abundante, como el galio, aunque sigue siendo la capacidad de producción del chip el limitante.

En cuanto a los elementos estructurales, la nueva arquitectura del VE se encamina a aligerar el peso del vehículo sin perder seguridad ni comodidad. Centrándonos en los elementos estructurales (chasis, largueros, carrocería, etc.), los nuevos materiales que se están utilizando son:

- Acero de alta resistencia.
- Aluminio, colado y forjado.
- Magnesio, colado y forjado.



**Figura 7. Reducción de peso del vehículo por sustitución del acero convencional por nuevos materiales a igualdad de resistencia y rigidez**



Fuente: MRS Bulletin, 46.

- Polímeros de policarbonato (PC) y acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).
- Plásticos reforzados con fibra de vidrio (GF).
- Plásticos reforzados con fibra de carbono (CF).

Sin tener en cuenta las consideraciones de precio, se han realizado análisis comparativos del ahorro en peso que supone la sustitución del acero convencional por estos nuevos materiales, para obtener bien la misma resistencia mecánica o la misma rigidez que con el acero convencional. La figura 7 muestra los resultados.

El aluminio, por su ligereza, es el primer material que sustituirá al acero. Las restricciones proceden de su menor resistencia mecánica, limita su uso, su mayor coste y por unas técnicas de conformación más complejas.

En el caso de las aleaciones de magnesio, los problemas técnicos son simi-

lares, pero estos materiales presentan una peor resistencia química, corrosión, lo cual limita sus aplicaciones, que quedan centradas en ambientes no agresivos. Estas aleaciones son incluso más ligeras que las de aluminio.

Para otros metales, como el titanio, su elevado coste limita sus usos a aplicaciones que requieran elevada resistencia química, a temperatura elevadas.

### Composites poliméricos

Los composites, materiales formados por diferentes sustancias y cuyas características vienen determinadas por su composición y su estructura, buscan reforzar propiedades en las que no se alcanzan valores suficientes o reducir los comportamientos no deseados. Pueden usar matrices plásticas, a lo que se añade un material de refuerzo, como fibra de vidrio, de carbono, Kevlar®. Según sea el uso, las fibras permiten ser orientadas y usadas en diversas longitudes, lo que confiere al material final diferentes propiedades.

**Figura 8. Principales polímeros, propiedades y usos empleados en automoción**

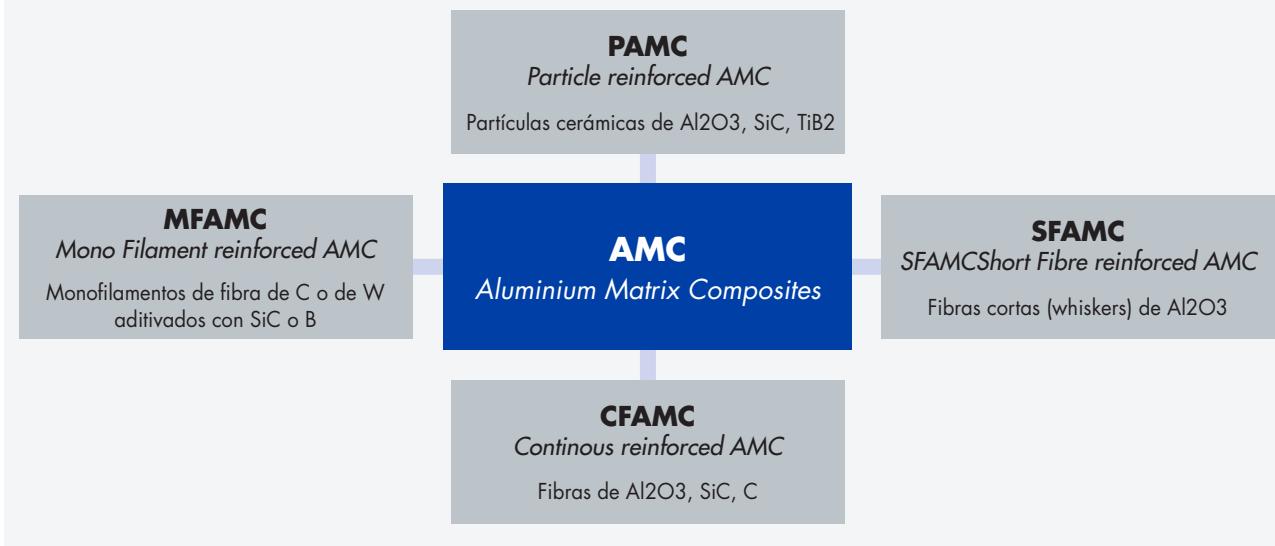
POLÍMERO		PROPIEDADES	APLICACIONES
POLIPROPILENO	PP	"Bajo Coste Alta resistencia Poca reactividad química"	"Guardabarros Alojamiento de las ruedas Alojamiento de los filtros de aire"
POLIETILENO	PE	"Bajo Coste Alta resistencia Poca reactividad química Buen envejecimiento"	Tanque de combustible
POLIAMIDA	PA	"Baja difusividad gaseos Estabilidad térmica Alta resistencia y elevada rigidez a la fatiga Buen envejecimiento"	"Cubierta del motor Conectores Conductos de ventilación"
ACRILONITRIL-BUTADIENESTIRENO	ABS	"Estabilidad dimensional Resistencia al impacto Alta resistencia"	"Marco del radiador Iluminación intermitente Paneles interiores"
POLIURETANO	PUR	"Buen comportamiento amortiguador Baja conductividad eléctrica Baja conductividad térmica"	"Envoltorios de asientos Elementos de amortiguación de interiores Revestimiento de techos"
POLICLORURO DE VINILO	PVC	"Bajo coste Resistencia a las inclemencias meteorológicas Resistencia al fuego"	"Placas antideslizantes Cables y cableados"
POLIOXIMETILENO	POM	"Resistencia química Resistencia al agrietado Resistencia al impacto Estabilidad térmica Resistencia a la abrasión"	"Sujecciones Conectores Rodamientos"
POLIMETILMETACRILATO	PMMA	"Transparencia Resistencia a radiación UV Resistencia a la fractura Resistencia superficial"	Elementos de iluminación
POLICARBONATO	PC	"Transparencia Resistencia a radiación UV Resistencia al impacto"	"Elementos de iluminación Elementos de carrocería"
POLIETILENTEREFALATO	PET	"Resistencia a la tracción Rigidez Efecto barrera"	"Tejidos Cinturones de seguridad Airbag"
POLIBUTILENTEREFALATO	PBT	"Alta rigidez Elevada temperatura de deflexión Alta resistencia eléctrica Bajo coeficiente de expansión térmica"	"Alojamientos eléctricos Alojamientos de espejos exteriores Manillas"

Los polímeros base empleados pueden ser muy numerosos, pero por razones de disponibilidad, coste y estandarización, solo unas cuantas familias químicas de polímeros tienen una aportación significativa, y se muestran en la figura 8.

Los composites que usan fibra de carbono ofrecen propiedades mecánicas muy mejoradas, con densidades bajas, pero su elevado precio no

permite un uso extensivo. Vehículos de pruebas, de alta gama y de competición son, de momento, los únicos que los usan.

Conforme los costes de los reforzantes se reduzcan y se mejoren las técnicas de fabricación, los composites entrarán a formar parte de elementos estructurales de los vehículos, ofreciendo mayor seguridad con un menor peso.

**Figura 9. Tipos de composites AMC**

### Composites de matriz metálica

Otro tipo de materiales compuestos que están adquiriendo importancia en el mundo de la automoción, y que se espera vaya en aumento, son los composites de matriz metálica (Metal Matrix Composites, MMC). Las propiedades que más se buscan en ellos son una elevada relación entre resistencia y peso en un amplio rango de temperaturas, y una baja tendencia a la fatiga y al envejecimiento.

Los principales MMC desarrollados tienen matriz de aluminio, Aluminium Matrix Composites – AMC, reforzados con distintos tipos de aditivos. En la figura 9 se muestran los principales tipos de AMC y el material reforzante utilizado.

En vehículos de combustión interna ya se usan PAMC y SFAMC con matrices metálicas de aluminio, magnesio y titanio para pistones, revestimientos de cilindros y tambores de freno. Tienen un elevado coste de fabricación y, los SFAMC son problemáticos para la salud por la presencia de fibras cortas.

### Nanocomposites y vidrios

Son composites que contienen reforzantes de tamaño nanométrico, tales como nanoarcillas, nanofibras y nanotubos de carbono, embebidos en una matriz polimérica. Suelen conseguirse propiedades de magnitud más elevada, puesto que la interacción matriz-reforzante es mayor. Se utilizan en muy pocas aplicaciones, ya que la tecnología actual no permite todavía producirlos a costes competitivos.

A pesar de que el vidrio es menos del 3% del peso del vehículo, también se están estudiando materiales alternativos. Parabrisas y ventanas asimismo tienen un papel estructural en los vehículos, que afecta a la seguridad. Se investiga sobre el uso de policarbonatos, PC, cuya densidad es la mitad de la del vidrio. La principal desventaja reside en la baja resistencia del PC a los rasguños superficiales. El otro polímero cuya transparencia permite pensar en su utilización como sustitutivo del vidrio es el polimetacrilato de metilo, PMMA, utilizado en pruebas en algunos vehículos de competición.

Los nuevos materiales y los composites deben ser fáciles de reparar, producir una menor huella de carbono, tener una vida útil prolongada, ser competitivos en costes y que su diseño permita el reciclado al final de la vida del vehículo.

## **Reutilización, recuperación y reciclado**

El final de la vida del vehículo es algo a lo que debe enfrentarse la industria del automóvil. Cualquier cambio en el diseño de los constituyentes y de los métodos de fabricación debe tener en cuenta el reciclado al final de la vida útil.

Actualmente, algunos materiales son relativamente fáciles de reciclar (metales, fundamentalmente). Otros, como las gomas, elastómeros, polímeros termoestables y líquidos (aceites, refrigerantes, etc.) no pueden ser reciclados, por lo que se procede a su destrucción, deposición o inertización. Existen otros en los que es menos costoso emplear material nuevo que reciclar los contenidos en un vehículo. Estos últimos suponen hasta un 25% del peso total. Con las técnicas de fabricación y reciclado actuales, no es fácil reducir drásticamente este elevado porcentaje de materiales de nulo o escaso valor.

Un buen ecodiseño permite producir bienes de vida útil prolongada y que, al final de esta, el reciclado sea posible a costes competitivos. Un ejemplo claro de la contradicción entre lo útil para el uso y lo adecuado para el reciclado de un material son los composites. Cuanto más íntima es la interacción entre matriz y reforzantes, mejores propiedades se obtienen, pero más difícil es el reciclado. Es por ello por lo que muchos de estos materiales son inertizados, su valorización es imposible. La degradación controlada por medio del uso de microorganismos o enzimas y el uso de

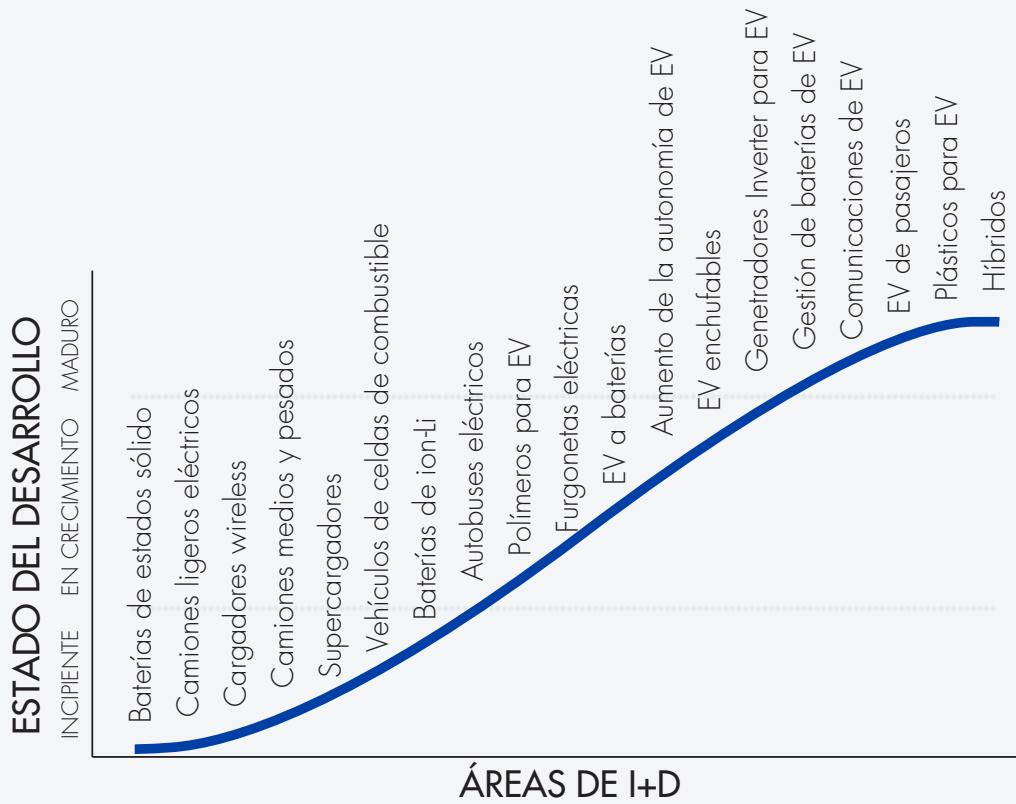
biopolímeros biodegradables está en muchas de las investigaciones. Otra tendencia es la reducción del número de materiales diferentes. Pero la creciente complejidad de los vehículos y la tendencia a la personalización y la customization son fuerzas que operan en sentido contrario.

En la actualidad, el reciclado de baterías se enfrenta a un hecho que excepciona el campo tecnológico. El cobalto puede ser el metal crítico en la fabricación de baterías para VE, por lo que se investiga en nuevos productos que no necesiten este elemento. Pero aquí surge una paradoja. Hoy en día la mayoría del retorno económico de los procesos de reciclado de baterías de ion-Li procede de la recuperación de cobalto. Si este desaparece en los nuevos diseños, el incentivo para el reciclado de baterías no existirá ya que, a los precios actuales, el litio es más barato si procede de mina que si su origen es el reciclado. Una de las líneas de investigación que más se está desarrollando es precisamente que el proceso de reciclado tenga interés económico por la recuperación del litio.

Se están desarrollando baterías más fáciles de desmontar, incluyendo la posibilidad de que se puedan llegar a separar fácilmente las celdas individuales que constituyen la batería, lo que facilitaría su reutilización y recuperación.

## **El futuro del VE**

En los próximos años vamos a asistir al desarrollo de nuevas tecnologías que favorezcan y faciliten el despliegue del VE. Como en todo sector en desarrollo, las fuerzas económicas y regulatorias son básicas para acelerar las investigaciones. En el caso del VE confluyen muchos intereses, frecuentemente denominados drivers. Entre estos factores los más importantes que queremos destacar son los siguientes:

**Figura 10. Estado del arte del desarrollo tecnológico**

– Prohibición de la fabricación y uso de vehículos convencionales (entre 2030 y 2050).

– Muchos desarrollos tecnológicos de baterías, motorización, redes de recarga, materiales, están siendo promovidos por las principales compañías industriales del mundo.

– Restricciones a la emisión de gases de efecto invernadero.

– Fomento de la generación eléctrica renovable.

– Incremento del uso del hidrógeno como vector energético.

– Aplicación de técnicas de fabricación más competitivas (Industria 4.0, fabricación aditiva, etc.)

– Aumento del tamaño de mercado al incorporarse nuevas economías emergentes.

Las tecnologías que se usan en los VE, además de diversas, se encuentran en diferentes momentos de su desarrollo. Algunas quizás estén alcanzando la madurez, pero otras muchas todavía se encuentran en sus estadios iniciales. En la figura 10 se hace una relación de tecnologías y de su estado de desarrollo.

De la misma forma que el siglo XX tuvo como uno de sus protagonistas al vehículo convencional, en el actual será el VE el que tome el relevo.

## Bibliografía

- Advanced Materials in Automotive Engineering. Edited by Jason Rowe. Woodhead Publishing Ltd. 2012
- Driving Workforce Change. The Driving Change Project 2011.
- Introducing New Materials in the Automotive Industry. Fredrik Henriksson. Linköping University. 2017.
- Advanced Materials Supply Considerations for Electric Vehicles Applications. Timothy E. Lipman, Petra Maier. MRS Bulletin, Vol. 46, December 2021.
- Vehicle Mass Reduction. Raodmap study 2025-2030. C. Bailo, S. Modi, M. Schultz, T. Fiorelli, B. Smith, N. Snell. Center for Automotive Research. 2020
- Materials used in Automotive Manufacture and Material Selection using Ashby Charts. M.A. Fentahun, M.A. Savas. Int. Journal of Materials Engineering 2018, 8(3): 40-54.
- Modern Materials. T.P. Horovun, K.V. Berladir, V.I. Pereva, S.G. Rudenko, A.I. Martinov. Journal of Engineering Sciences. Volume 4, Issue 2 (2017).
- Future Fuels Strategy. Department of Industry, Science, Energy and Resources. Government of Australia. 2021.
- Global EV Outlook 2023. Catching up with global ambitions. International Energy Agency. 2023.
- The future of our vehicles: "advanced, lighter materials". <https://www.plasticsmakeitpossible.com/whats-new-cool/automotive/auto-bodies-parts/future-vehicles-advanced-lighter-materials/>
- Top 5 Materials Used in Auto Manufacturing. <https://auto.howstuffworks.com/under-the-hood/auto-manufacturing/5-materials-used-in-auto-manufacturing.htm>
- What emerging material innovations could make vehicles lighter? <https://www.prescouter.com/2020/02/emerging-material-innovations-vehicles-lighter/>
- Alternative Vehicle Propulsion Systems: The Future of Automotive Tech. <https://www.mentorworks.ca/blog/business-strategy/vehicle-propulsion-systems/>
- Next generation of car materials. <https://www.iaa.de/en/mobility/for-visitors/experience-the-iaa/trends-topics/next-generation-of-car-materials>
- Sustainable materials in cars of the future. <https://www.continental-tires.com/car/stories/technology-and-innovation/material-world>
- Plastics makers plot the future of the car. <https://cen.acs.org/articles/95/i45/Plastics-makers-plot-future-car.html>
- What's new in materials science for the automotive industry? <https://blog.keronite.com/whats-new-in-materials-science-for-the-automotive-industry>
- The future of EV batteries. <https://www.greencars.com/guides/the-future-of-ev-batteries>
- Electric cars and batteries: how will the world produce enough? <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02222-1>



- Solid-State Batteries Promise Electric Car Popularity Boost, But Technical Mountains Await. <https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2021/11/28/solid-state-batteries-promise-electric-car-popularity-boost-but-technical-mountains-await/?sh=5ca4412d632f>
- Next-generation battery may unlock the future for electric vehicles. <https://www.ocregister.com/2021/06/18/next-generation-battery-may-unlock-electric-vehicles-future/>
- Creating next generation batteries for electric vehicles. <https://www.ukri.org/news/creating-next-generation-batteries-for-electric-vehicles/>

## Ideas fuerza

La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es uno de los principales motores de desarrollo de los vehículos eléctricos como sustitutivos de los de combustión interna.

El problema del almacenamiento de energía en las baterías, imprescindible para la autonomía del vehículo y su utilidad como medio de transporte, es uno de los principales retos tecnológicos que sigue sin estar resuelto.

Las baterías para vehículos eléctricos se basarán, a medio y largo plazo, en procesos electroquímicos diferentes a los empleados actualmente, más baratos y mucho más sostenibles.

Junto a las baterías se deben seguir desarrollando nuevos materiales que aporten al vehículo eléctrico las mismas prestaciones mecánicas que los actuales, a la vez que aligeren el peso total de vehículo y, por tanto, su consumo.

Los nuevos materiales, desde su síntesis, y las nuevas tecnologías de fabricación deben tener en cuenta los principios del ecodiseño: alargamiento de la vida útil del producto y facilidad de recuperación y reciclado de sustancias y componentes.

**Ana Isabel Elduque** es licenciada en Ciencias Químicas por la Universidad de Zaragoza y Doctora en Química por la Universidad de Zaragoza. Ha realizado estancias postdoctorales en Reino Unido y EE.UU. Es catedrática de Química Inorgánica en la Universidad de Zaragoza y ha sido Decana de la Facultad de Ciencias. En la actualidad es directora del Departamento de Química Inorgánica, coordinadora del Máster Universitario en Química Industrial de la Universidad de Zaragoza y decana del Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra.

**Juan José Ortega** es licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Zaragoza y Máster en Economía y Dirección de Empresas por el Instituto de Estudios Superiores de la Empresa, IESE, de la Universidad de Navarra. Ha desarrollado su labor profesional en el mundo industrial habiendo sido director general de varias empresas suministradoras de componentes, Tier 2, del sector de automoción, especialmente en cableados, motores y actuadores. En la actualidad es tesorero del Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra.