

La seguridad en la carga de vehículos eléctricos



Ing. Ricardo Berizzo
Cátedra Movilidad Eléctrica
UTN Rosario
rberizzo@gmail.com

El pasado 6 de agosto, The Washington Post dio cuenta de un incendio provocado por la carga de un Tesla modelo "S" (<https://www.washingtonpost.com/technology/2021/08/04/tesla-fire/>).

La reproducción parcial del artículo cuenta que "El suceso ocurrió el año pasado, pero no trascendió hasta hace poco. Los propietarios, Yogi y Carolyn Vindum, estaban durmiendo cuando el coche emitió una alerta de que la carga se había interrumpido. La pareja no se despertó hasta doce minutos después, cuando una alarma a todo volumen les avisó que el vehículo se había incendiado. Las llamas ya se habían extendido a otro Tesla que había en el garaje y a otras partes de la casa. Una de las posibles causas del fuego fue un mal funcionamiento del sistema de gestión térmica del vehículo. El siniestro se suma a otros ejemplos recientes de los peligros que puede entrañar dejar a los coches eléctricos cargándose sin supervisión durante toda la noche".

Dejando de lado la posibilidad de que este artículo sea uno más en la saga de desprestigio a la movilidad eléctrica, en especial a Tesla Motors, ya que han ocurrido incendios por siniestros de vehículos en carreteras, son de especial atención los que ocurren durante la carga. Esto amerita realizar una serie de consideraciones al respecto.

A falta de la posibilidad de realizar u obtener una pericia de lo ocurrido, vamos a transitar el camino de lo general a lo particular con el fin de aclarar ciertas cuestiones técnicas que sirvan tanto para este caso como para cualquier otro.

La batería de litio

La batería de litio es un dispositivo conformado por celdas, diseñado para el almacenamiento de energía eléctrica, que emplea como electrolito una sal de litio que consigue los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo.

Todas las celdas tienen en común su estructura interna, formada por los siguientes elementos:

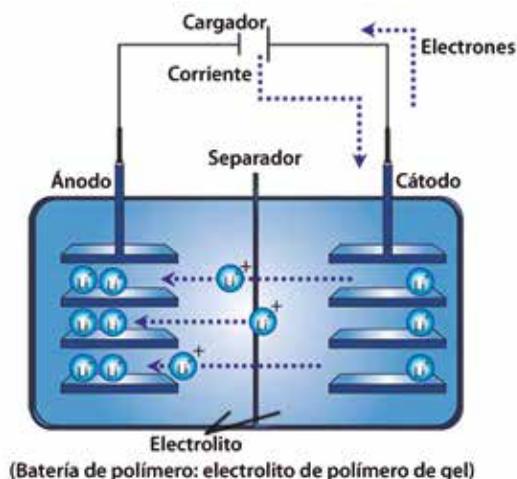


Figura 1. Mecanismo de carga de batería recargable de ion-litio

ánodo (electrodo positivo), fabricado con óxido de litio cobalto (o de litio fosfato, litio magnesio...); cátodo (electrodo negativo), fabricado generalmente con grafito; separador, una lámina polímero que separa los electrodos, y electrolito, un solvente orgánico en el que se sumergen el ánodo, el cátodo y el separador (ver figura 1).

Las diferentes combinaciones de baterías de litio tienen un común denominador, inherente a su conformación y funcionamiento, que es la fuga térmica o embalamiento térmico. Este fenómeno puede ocurrir tanto durante la carga como durante la descarga del dispositivo, por eso la tem-

peratura es un factor crucial: ya no solo para un buen desempeño, sino también por seguridad.

A modo de ejemplo doméstico, todos hemos experimentado el aumento de temperatura en la parte de atrás del teléfono móvil cuando hemos estado utilizándolo durante mucho tiempo, poniendo en evidencia, tanto durante la carga como durante la descarga, un proceso exotérmico dentro de la batería. En la figura 2, una explicación acerca de lo que ocurre si ese aumento de temperatura no se controla convenientemente.

Este fenómeno [fuga térmica] puede ocurrir tanto durante la carga como durante la descarga del dispositivo, por eso la temperatura es un factor crucial: ya no solo para un buen desempeño, sino también por seguridad.

Sistemas de seguridad de las baterías de litio

Toda batería de litio debe tener un sistema de control y seguridad. La profundidad del sistema aludido depende directamente de la potencia que se va a transferir, ya sea durante la carga o



Figura 2. Qué ocurre si el aumento de temperatura de la batería no se controla convenientemente:

- se produce exceso de temperatura en una zona concreta de la batería por sobrecarga;
- la reacción se extiende en cadena, afectando el resto de la batería, que se sobrecalienta;
- el electrolito hierve ejerciendo presión sobre la carcasa de la batería, que pasa a hincharse;
- incapaz de aguantar la presión, la carcasa de la batería cede y se incendia el electrolito.

durante la descarga. Esa potencia depende del tamaño de la batería. Dicho sistema es un BMS (por las siglas en inglés de ‘sistema de gestión de baterías’), que es un sistema electrónico generalmente microprocesado.

Sus funciones esenciales de control son, por ejemplo, para una batería de fosfato de hierro y litio (LiFePO4):

- » a) desconectar o apagar la carga cuando la tensión de una celda de la batería cae por debajo de 2,5 V;
- » b) detener el proceso de carga cuando la tensión de una celda de la batería sube por encima de 4,2 V;
- » c) apagar el sistema si la temperatura de una celda excede los 50 °C.

Además de equilibrar las celdas, un BMS evitará la subtensión en las celdas desconectando la carga cuando sea necesario; evitará la sobretensión en las celdas reduciendo la corriente de carga o deteniendo el proceso de carga, y desconectará el sistema en caso de sobrecalentamiento.

Además, el BMS puede mostrar, a través de una pantalla independiente o incorporada al tablero del vehículo, todos los parámetros eléctricos de la batería. Para llevar a cabo dicha tarea, cada uno de los componentes debe estar permanentemente monitoreado en tiempo real. El BMS está vinculado con el resto del vehículo y even-

tualmente con el exterior (durante la carga) a través de una red CAN. CAN (por las siglas en inglés de ‘controlador de red de área’) es un protocolo de comunicaciones desarrollado por la empresa alemana Robert Bosch GmbH, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos. Ella ofrece una solución a la gestión de la comunicación entre múltiples CPU (por las sigla en inglés de ‘unidades centrales de proceso’).

Cuando el vehículo está funcionando, el BMS monitorea el suministro de energía al sistema eléctrico de tracción y, eventualmente, ante el freno regenerativo, monitorea la energía, que en función del estado de carga y de la energía generada, la batería puede aceptar.

Ahora bien, cuando es necesario cargar la batería, el vehículo deja de ser un elemento aislado para vincularse con un elemento externo (el puesto de carga de energía eléctrica). Según el nivel de carga, no solo se transfiere energía, sino que además se mantiene una comunicación de ida y vuelta entre el vehículo y el puesto de carga.

La conexión y la comunicación entre un vehículo y el cargador se basarán en una entrada-salida común y un idioma que ambos “hablen” con fluidez, conocido como protocolo de comunicación.

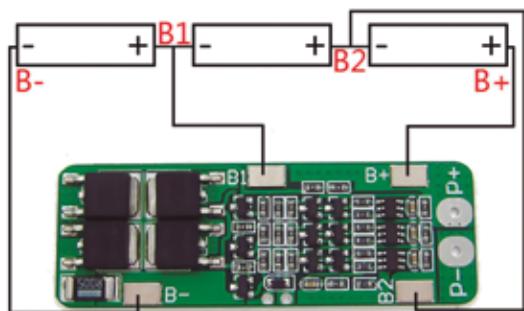


Figura 3. Ejemplo de un esquema básico de batería

Para que un sistema de carga energice la batería de un vehículo, debe haber no solo un punto de conexión física común, sino además un “acuerdo” entre el sistema de gestión de baterías del vehículo y el cargador. Si esa vinculación es exitosa, el BMS comunica los parámetros importantes de la batería al cargador, como el estado de carga, la capacidad de energía, las condiciones ambientales, y otros datos que son críticos para la seguridad. La conexión y la comunicación entre un vehículo y el cargador se basarán en una

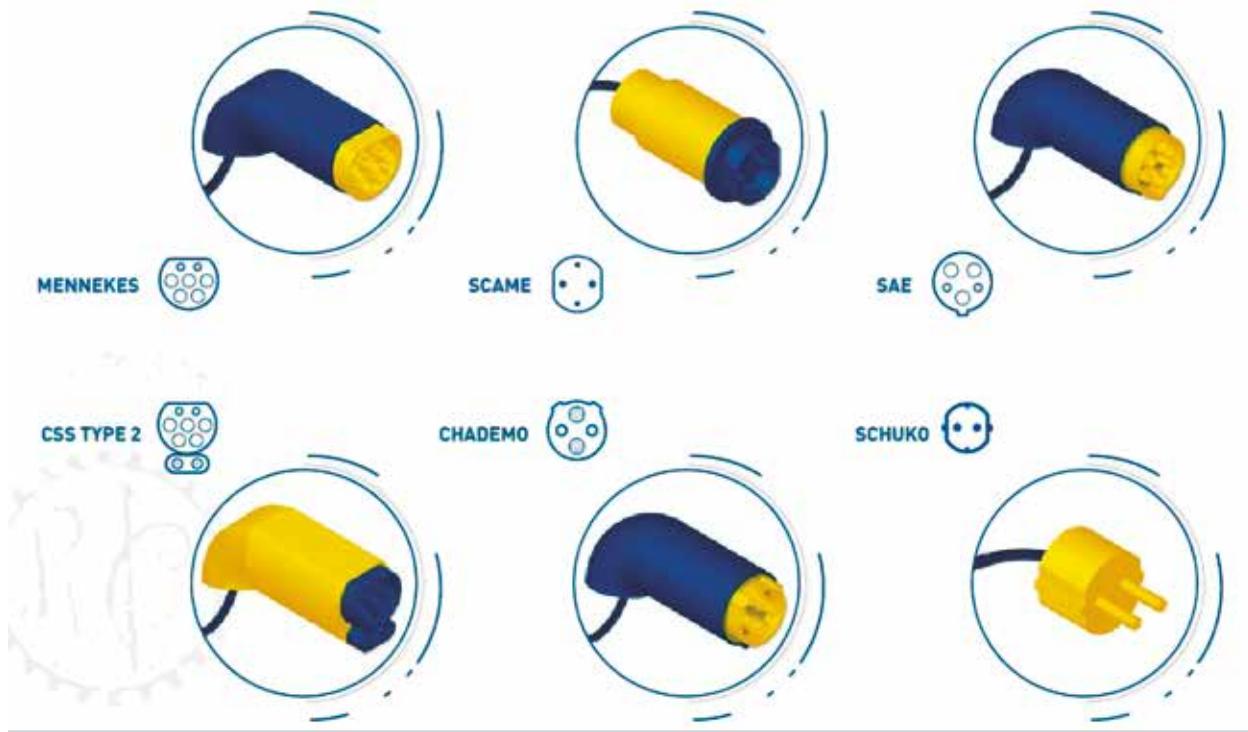


Figura 4. Tipos de conectores de los coches eléctricos

entrada-salida común y un idioma que ambos “hablen” con fluidez, conocido como protocolo de comunicación.

Los modos de carga de los coches eléctricos

Los vehículos eléctricos se pueden cargar de tres maneras:

- » Recarga convencional: se utiliza un enchufe normal de 16 A con una potencia desde los 3,6 hasta los 7,4 kW. La batería del coche estará cargada en unas ocho horas, o más. Se utiliza en el garaje doméstico durante la noche.
- » Recarga semirrápida: utiliza un enchufe especial de 32 A (su potencia varía desde los 11 hasta los 22 kW). La batería se recarga en unas cuatro horas.

- » Recarga rápida: su potencia puede superar los 50 kW. Se alcanza un 80% de la carga en treinta minutos. Para este tipo de recarga, se necesita adaptar la red eléctrica existente, ya que exige un nivel de potencia muy alto.

Los tipos de conectores que tienen los coches eléctricos son:

- » schuko para enchufes domésticos;
- » conector norteamericano SAE J1772 o yazaki;
- » conector mennekes: junto con el schuko es el que más se ve en los puntos de recarga europeos;
- » conectores combinados o CCS utilizados por norteamericanos y alemanes;
- » conector CHAdEMO, que utilizan los fabricantes japoneses para la recarga rápida con corriente continua.

Los modos de carga sirven para que la infraestructura de recarga y el coche eléctrico estén comunicados. Gracias a este intercambio de información, se puede conocer la potencia a la que se va a cargar la batería del auto o cuándo hay que interrumpir la carga si hay algún problema, entre otros parámetros.

- » Modo 1: utiliza el conector schuko y no hay ningún tipo de comunicación entre la infraestructura de carga y el vehículo. Simplemente, el coche empieza a cargar cuando se conecta a la red eléctrica, y una vez cargada la batería, el BMS del vehículo corta el suministro (como los teléfonos móviles, notebooks, tablets, etc.).
- » Modo 2: también utiliza el enchufe schuko, con la diferencia de que en este modo ya hay una pequeña comunicación entre la infraestructura y el coche, que permite comprobar si el cable está bien conectado para comenzar la carga.
- » Modo 3: se vale del conector mennekes, más complejo. La comunicación entre la red y el coche aumenta, y el intercambio de datos es mayor, por lo que se pueden controlar más parámetros del proceso de carga, como el tiempo en el que la batería estará al ciento por ciento.

- » Modo 4: tiene el nivel de comunicación más alto de los cuatro modos. Permite obtener, a través de un conector mennekes o ChadeMo, cualquier tipo de información sobre cómo se está realizando la carga de la batería. Solo en este modo se puede realizar la carga rápida, si se convierte la corriente alterna en corriente continua.

Todos los modos deben satisfacer la norma IEC 62196, que es un estándar internacional para el conjunto de conectores eléctricos y los modos de recarga (en especial, la rápida) para vehículos eléctricos, sustentada técnicamente por la Comisión Electrotécnica Internacional. IEC 61851-23 para el sistema de carga, e IEC 61851-24 para la comunicación.

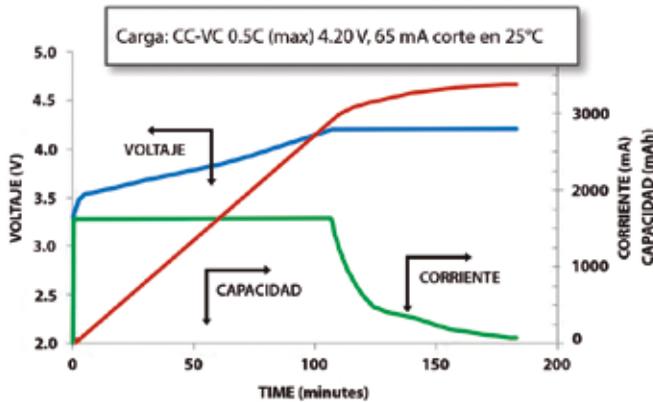
Banco de baterías y niveles de carga del modelo "S" de Tesla

El paquete de baterías es plano y está en el piso del coche, entre los ejes. Proporciona 400 V en corriente continua. Está formado por baterías de iones de litio sumando una capacidad de 70, 85, 90 o 100 kWh según versiones. Está refrigerado con líquido para evitar su sobrecalentamiento y para optimizar su funcionamiento.

Capacidad nominal	3.200 mAh
Capacidad mínima	3.250 mAh
Capacidad típica	3.350 mAh
Tensión nominal	3,6 V
Carga	CC-CA, Std. 1.625 mA; 4,2 V; 4 h
Peso (máx.)	48,5 kg
Temperatura de carga	0 a 45 °C
Temperatura de descarga	-20 a 60 °C
Temperatura de almacenamiento	-20 a 50 °C
Densidad de energía volumétrica	676 Wh/l
Densidad de energía gravimétrica	243 Wh/kg

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la batería Panasonic NCR18650B

Características de carga



Perfil de carga del supercargador

Basado en el Modelo S de 85 kWh

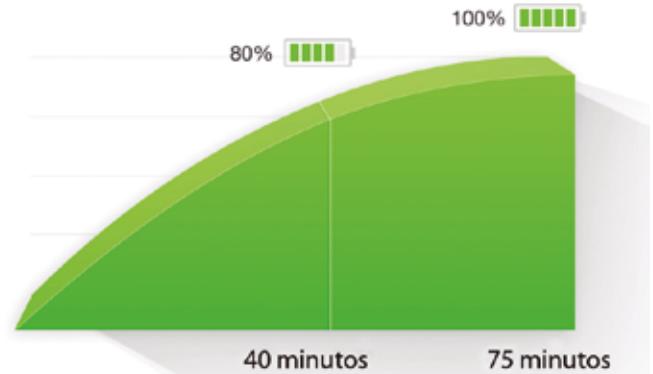


Figura 5. Características de la carga de la batería Panasonic NCR18650B

La energía específica del paquete, incluyendo las celdas, la carcasa, electrónica y refrigeración, es de 156 Wh/kg. El paquete está formado por baterías individuales (celdas) de iones de litio Panasonic NCR18650B, voltaje nominal de 3,6 V y 3,2 Ah de capacidad cada una.

La capacidad nominal de la celda es de 3.200 mAh, medida a una temperatura de 20 °C. Si se mide a 25 °C, esta capacidad aumenta hasta los 3.250 mAh. Un aumento insignificante, que ya nos avisa sobre cómo afecta la temperatura a este tipo de baterías.

La tensión nominal es de 3,6 V. Este es un dato medio, ya que la tensión de la celda varía en función de su estado de carga. Con la celda descargada, estará en torno a los 3 V, y cargada, en torno a los 4,2 V.

Panasonic recomienda cargar la celda a una intensidad de 1.625 mA, lo que arroja una tasa de carga de 0,5 C. Además, a temperaturas por debajo de los 10 °C, el fabricante recomienda cargar la batería a 0,25 C. Estos datos nos muestran que, al menos sobre el papel, la recarga rápida no es la mejor forma de cargar las baterías del Modelo S. Algunos supercargadores alcanzan los 135 kW de potencia, lo que nos daría una tasa de carga de 1,5 C para la versión de 90 kWh.

“C” significa que la máxima tasa de carga/descarga a la que puede llegar es a la que corresponde a su capacidad. Por ejemplo, una batería de 1.000 mAh, 1 C se descargaría a 1 A en una hora.

En la figura 5, lo más relevante es el valor de la corriente, la línea verde. Se puede comprobar cómo, según va subiendo la tensión (línea roja) de la celda (es decir, su estado de carga), llega un momento en el que la corriente se reduce drásticamente. Esto explica por qué Tesla anuncia que

Características de descarga (por temperatura)

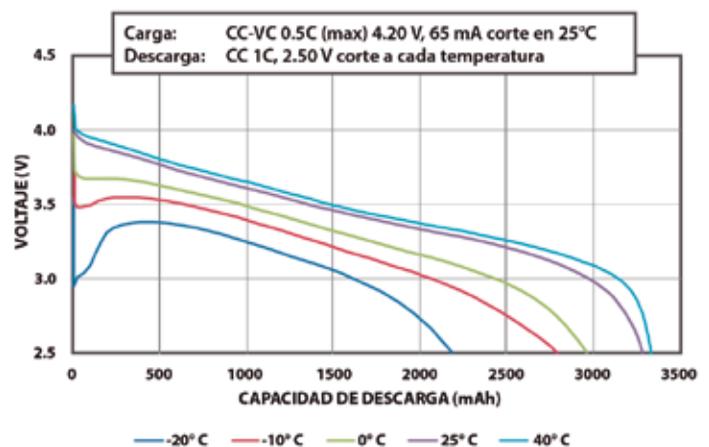


Figura 6. Características de la descarga. Capacidad de la batería en función de la temperatura

Modelo S/X 100D: Tiempos de carga de vacío a lleno



Figura 7. Tiempos de carga del modelo S/X 100D de vacío a lleno

sus supercargadores cargan de 0 al 80% en solo 40 minutos, pero necesitan 75 minutos para llegar al 100%.

La temperatura afecta de manera negativa a las baterías. Cuanto más baja es la temperatura, más afectada se ve la capacidad de la batería. Se puede ver claramente como para una temperatura de -20 °C, la capacidad de la batería es de apenas 2.200 mAh, mientras que a 40 °C la capacidad se eleva hasta los 3.300 mAh. Por ejemplo: el paquete de 85 kWh contiene 7.104 baterías agrupadas en 16 módulos monitoreados por un BMS complejo. El sistema de refrigeración trata de mantener la temperatura del banco de batería siempre por debajo de 35 °C para conseguir una temperatura media de 25.

Para evitar los estados de carga muy altos o muy bajos, el sistema de control no debería permitir superar el 95% de la carga máxima ni bajar del 2%. Si la temperatura exterior está por debajo de 0 °C, el sistema de control calentará el paquete de baterías antes de proceder a la recarga.

Los tiempos de recarga varían dependiendo del estado de carga, su capacidad total, el voltaje disponible y el amperaje de la corriente de recarga.

Los tiempos de recarga varían dependiendo del estado de carga, su capacidad total, el voltaje disponible y el amperaje de la corriente de recarga.

El cargador incorporado de 10 kW es compatible con 85-265 V, 45-65 Hz, 1-40 A. Permite recargar hasta 50 km en una hora de recarga a 40 A. El cargador opcional de 20 kW aumenta la intensidad de la corriente de recarga hasta 80 A, recarga completamente la batería de 85 kWh en cinco horas. Los puntos de recarga rápida (supercargadores) permiten recargar en treinta minutos lo suficiente para recorrer otros 257 km con la batería de 85 kWh.

En resumen, cada nivel de carga ofrece diferentes velocidades de carga. Las diferentes configuraciones de Tesla tienen una potencia de carga máxima que pueden aceptar.

Existen tres niveles de carga:

- » Monofásico: nivel 1, carga 120 V
- » Trifásico:
 - nivel 2, carga 240 V
 - nivel 3, supercarga o carga rápida CA 480 V.

Conclusiones

Para llegar a las causas que provocaron este incidente en particular, también es importante verificar los antecedentes de este modelo de coche. Lamentablemente, desde que el modelo "S" salió a la venta en el año 2012, ha protagonizado ciertos hechos en los que el vehículo se ha incendiado de manera espontánea ya sea durante la carga, circulando o estacionado.

Por ejemplo: según Tesla, en la investigación del coche estacionado e incendiado en Shanghai (21 de abril de 2019), analizaron la batería, el software, los datos de fabricación y el historial del coche, y afirmaron que no encontraron nada fuera de lo normal.

Como medida de seguridad adicional, Tesla envió una actualización de software vía OTA (por las siglas en inglés de 'a través del aire') a los modelos "S" y "X", la cual hace ajustes en la carga de las baterías y en la gestión térmica de los coches. Lo cierto es que los siniestros de este tipo no son frecuentes, pero no deja de inquietar en la forma en la que se producen.

Concretamente, para el caso que nos ocupa, asumimos que los dueños de casa, Yogi y Carolyn Vindum, habían colocado un cargador para cada coche, y que cada punto de carga se correspondía con las características técnicas del vehículo y la instalación domiciliaria de acuerdo a todo lo que se desarrolló teóricamente más arriba.

Consideramos también que la batería/celda Panasonic NCR18650B es una batería muy popular por su gran calidad y capacidad. Se utiliza también en el montaje de packs multibatería, para su uso en bicicletas eléctricas, patinetas eléctricas, segways, unidades de alimentación de altas prestaciones, etc., sin presentar ningún tipo de inconvenientes.

No queda otra alternativa que considerar que la eventual anomalía se produce en el sistema de control de carga/descarga del pack de batería del vehículo. Daría la impresión de que, en pos de obtener y mostrar un excelente rendimiento

del vehículo, Tesla trata de lograr tiempos de carga muy bajos, por lo que se permite que el sistema de monitoreo/detección/desconexión trabaje muy cerca del límite de temperatura de la batería con las consecuencias conocidas. Este debe, a través de algoritmos que se ejecutan en tiempo real, prever y desactivar una escalada térmica, ya sea con el vehículo en carga, circulando o estacionado.

No hay un caso de un vehículo eléctrico comercial que se haya incendiado durante una carga lenta.

No hay un caso de un vehículo eléctrico comercial que se haya incendiado durante una carga lenta, por lo tanto, la velocidad de carga, los plazos de entrega de vehículos, los softwares de los diferentes sistemas de control internos y externos deben ser revisados o redefinidos para lograr la máxima seguridad posible.

Los fabricantes de automóviles y sus proveedores de baterías tendrán que ser extremadamente cuidadosos en la fabricación de vehículos eléctricos, si realmente se quiere transmitir seguridad a un mercado global que aún no se ha decidido a dar el salto a la movilidad con emisiones cero. La compra y el uso de un vehículo eléctrico debe ser un motivo de satisfacción, no de preocupación o de pesadilla. ■