

ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

PABLO FRÍAS MARÍN

Instituto de Investigación Tecnológica IIT-ICAI

CARLOS DE MIGUEL PERALES

Facultad de derecho ICADE

Universidad Pontificia de Comillas

El proceso de desarrollo de una nueva tecnología como el vehículo eléctrico no está exento de tener un impacto medioambiental en todo su ciclo de vida, desde la construcción de los distintos componentes, su uso como medio de transporte, hasta la fase última de destrucción y reciclaje. Durante su vida útil se hace uso de distintos recursos (litio o cobalto en la fabricación de las baterías, gas natural para producir la energía almacenada en las

mismas), y se producen impactos ambientales (por ejemplo, derivados de las emisiones precisas para que el vehículo transite). En este artículo se analiza la huella ecológica del coche eléctrico durante su vida, en comparación con un vehículo de combustión tradicional, y presenta las principales normas que regulan el impacto medioambiental del mismo en España.

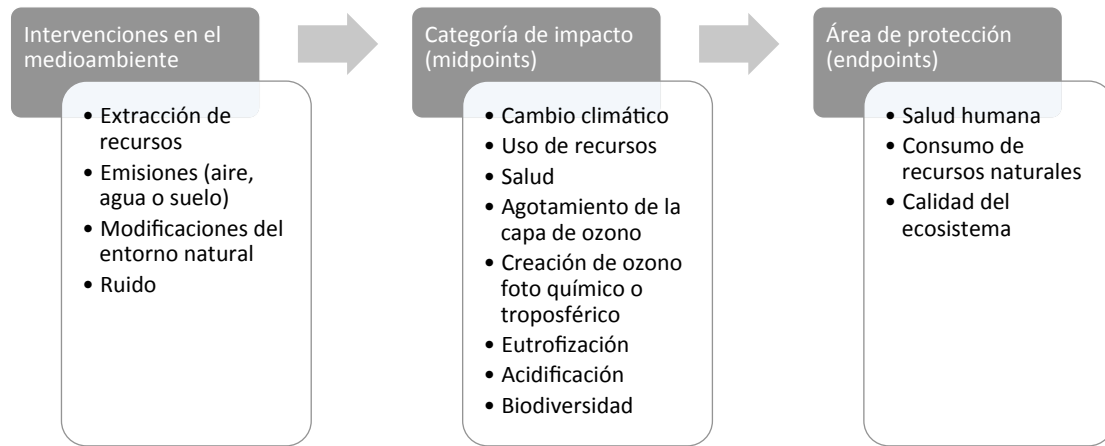
ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO ↓

La metodología de análisis de ciclo de vida (también conocida como LCA) es una herramienta que nos permite evaluar de forma cuantitativa el impacto medioambiental de la fabricación y uso los productos, y por tanto permite comparar distintas tecnologías, en este caso el vehículo eléctrico («VE») frente al vehículo de combustión («VC»). De esta forma se podrá analizar la cantidad de material, energía usada, emisiones y desechos de la cadena completa de producción (Curran 1996). Además, esta herramienta tiene el potencial de identificar aquellos procesos críticos desde

el punto de vista medioambiental (Cliff 2006). Para el análisis del ciclo de vida de un vehículo se van a considerar tres etapas: (1) extracción, procesado y fabricación, (2) uso y (3) fin de vida o desguace.

Esta herramienta consta básicamente de dos pasos: en primer lugar es preciso realizar un inventario detallado del uso de los recursos materiales como energéticos, además de las emisiones y desperdicios. A continuación, se procede al cálculo detallado de las emisiones y extracción de recursos, que a su vez se traducen en unos valores de los denominados factores de caracterización medioambientales. Este proceso de cálculo también se conoce como ReCiPe, y se basa en el cálculo de 18 indicadores intermedios y 3 indicadores totales o de alto nivel. El detalle de las distintas categorías donde es preciso analizar el impacto se muestra en la figura 1, donde los indicadores intermedios analizan problemas medioambientales concretos, tales como uso del agua o acidificación del terreno, mientras que los indicadores finales muestran el impacto en tres aspectos: efecto en la salud humana, biodiversidad y escasez de recursos.

FIGURA 1
CATEGORÍAS DE IMPACTO



Fuente: UNEP 2011

En nuestro ordenamiento jurídico la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados contempla el concepto de ciclo de vida en distintos artículos. Destacamos dos:

- Como justificación para adoptar un orden distinto de prioridades de la jerarquía de residuos para conseguir el mejor resultado medioambiental global en determinados flujos de residuos, teniendo en cuenta los principios generales de precaución y sostenibilidad, viabilidad técnica y económica, protección de los recursos, así como el conjunto de impactos medioambientales sobre la salud humana, económicos y sociales (artículo 8).
- Como contenido de obligaciones que pueden imponerse a los productores de determinados productos en aplicación del régimen de responsabilidad ampliada del productor del producto (artículo 31.2.a).

Interesa citar también la Comunicación de la Comisión UE al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones «Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular» (Bruselas, 2.12.15, COM(2015) 614 final), que se refiere a una economía más circular, en la cual el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y en la que se reduzca al mínimo la generación de residuos.

Ya antes se había publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea de 4.5.13, L 124, la Recomendación de la Comisión UE de 9 de abril de 2013 sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida. Esta Recomendación promueve el uso de los métodos

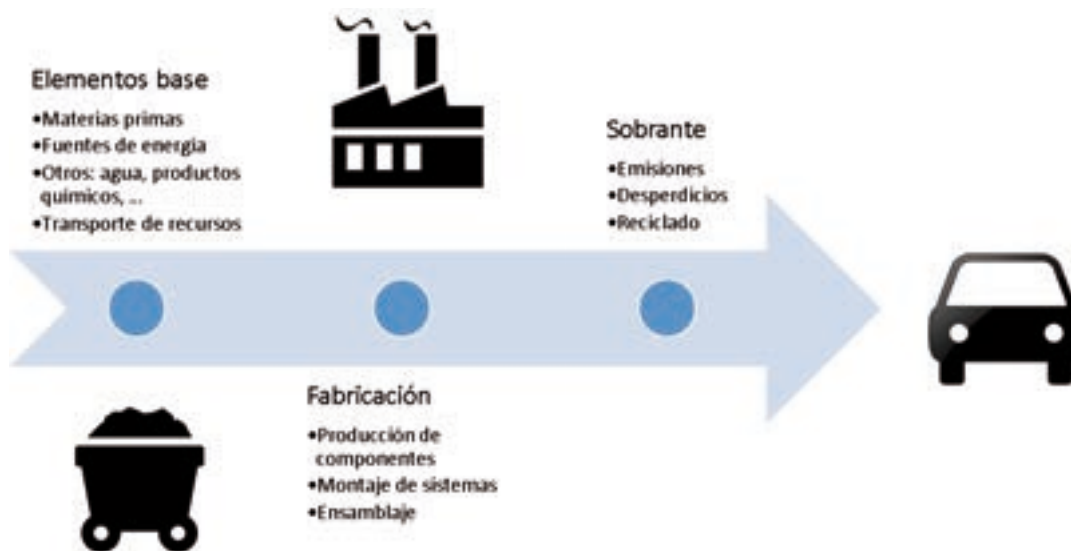
de huella ambiental en las políticas pertinentes y en los sistemas relacionados con la medición o comunicación del comportamiento ambiental de los productos u organizaciones en el ciclo de vida.

A continuación se hace una descripción de los distintos componentes que necesitan considerarse en las tres etapas antes citadas (extracción, procesado y fabricación; uso; y fin de vida o desguace). Donde proceda se harán las referencias legales que resulten pertinentes, que se referirán a España y serán forzosamente generales dada la naturaleza de este trabajo. Debe avanzarse que la legislación ambiental en España es completa y que cubre todos los aspectos que pueden referirse a estas tres etapas. Cosa distinta es que deba adaptarse, según se estime oportuno en cada momento por el legislador, a los casos concretos del VC y del VE según las tecnologías y los requerimientos de protección ambiental vayan evolucionando. Lo importante es aplicar el enfoque del ciclo de vida que se ha apuntado; solo así se puede asegurar una protección ambiental integral y coherente.

FABRICACIÓN ↓

Para analizar el detalle del proceso de fabricación de un vehículo supondremos tres niveles de desagregación: componentes, que se integran en sub-sistemas y a su vez se agregan en unidades. En concreto para los vehículos, independientemente de la tecnología, se pueden distinguir dos grandes unidades: el tren de potencia (que en los vehículos eléctricos consistirá en la batería y el motor eléctrico, y en los coches de combustión en el motor de térmico de combustión) y la estructura del coche. Se puede asumir que la estructura del coche es independiente de la tecnología de propulsión usada y por tanto no se entrará en un análisis detallado de la misma, aunque se puede consultar el detalle de su ciclo de vida en (Ecoinvent 2014).

FIGURA 2
PRINCIPALES ELEMENTOS EN LA FASE DE PRODUCCIÓN DE UN VE



Fuente: Del Duce 2013

Los principales elementos asociados a la fabricación del VE se resumen en la Figura 2, donde la producción de los distintos componentes y el ensamblaje de estos precisa de uso de materias primas (acero, aluminio, cobre, etc.), energía (electricidad), accesorios (agua, productos químicos, etc.) y transporte de los componentes o recursos. Durante este proceso habrá emisiones, desperdicios y reciclaje de los mismos.

La batería de un VE consta de 4 sub-sistemas: sistema de refrigeración, celdas, estructura y controlador (también conocido como Battery Management System BMS). Una distribución típica del peso entre estos sub-sistemas es del 4.1 %, 60.1%, 32.1% y 3.7% respectivamente (Ellingsen *et al.* 2014).

El sistema de refrigeración consta a su vez de varios componentes: radiador, colectores, elementos de sujeción, almohadilla térmica y refrigerante. El material principal es el aluminio en el radiador que supone el 30% de todo el aluminio en la batería.

Por su parte, la batería consta de distintos módulos y cada módulo se compone de varias celdas; por ejemplo el Nissan Leaf dispone de 48 módulos y 192 celdas en total. Los componentes básicos serían el ánodo y cátodo, donde el ánodo el componente donde se produce la reacción de oxidación (pérdida de electrones) y el cátodo donde se produce la reacción de reducción (adquisición de electrones), siendo este movimiento de electrones el que da lugar al flujo eléctrico que alimenta al motor. La composición del cátodo de las baterías de Lón-Litio pueden ser muy diversas: con Manganeso LiMn_2O_4 (LMO), Fosfato de Hierro LiFePO_4 (LFP), Cobalto $\text{Li}(\text{NiCoAl})\text{O}_2$, o mezcla de varios $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$ (NCM) entre otras (Goodenou-

gh and Park 2013). Por su parte el ánodo suele ser de base carbono o litio – titanato.

La fabricación de una celda de combustible requiere de energía, para el recubrimiento de los electrodos, la soldadura de los colectores de corriente a las pestañas, el llenado del electrolito y la carga inicial de la celda terminada. No obstante, el consumo principal en el proceso de fabricación de la batería está normalmente en el sistema de refrigeración de los cuartos secos de la fábrica que permiten garantizar la calidad de las celdas de la batería, (Ellingsen *et al.* 2014).

Por su parte, las dos tecnologías de motores eléctricos usadas para la tracción del VE son los motores síncronos y asíncronos, cuyo uso es del 83% y 11% respectivamente, quedando un 6% de ventas para VE que montan ambos motores (IDTechEx, 2014). El mayor uso de motores síncronos se debe a que disponen de una mayor densidad de potencia y eficiencia que los asíncronos. Desde el punto de vista constructivo ambos motores constan de una estructura de hierro fundido o aluminio, de un bloque de chapa magnética y de devanados de cobre o aluminio, y la principal diferencia entre ambos es que los motores síncronos disponen de imanes permanentes. Éstos se construyen usando las denominadas «tierras raras», tales como el neodimio. Actualmente la extracción de estos minerales se concentra en determinadas zonas geográficas como China (Le Petit 2017), lo que hace de los mismos caros, de precios volátiles, y cuya disponibilidad en el medio plazo no está asegurada. En la tabla 1 se muestra la comparativa de dos tecnologías de motores de tracción tanto en pesos como en costes del material de los distintos componentes.

TABLA 1
COMPARATIVA DEL PESO Y COSTE DE MOTORES DE 50kW TRACCIÓN ELÉCTRICA

Material y componente	Motor de inducción		Motor de imanes permanentes	
	Peso (kg)	Coste (€)	Peso (kg)	Coste (€)
Estator (cobre)	9.1	54.5	4.5	26.4
Acero/chapa	24	20.4	24	20.4
Rotor (jaula/imanes)	8.4	50.2	1.3	170-468
Sobrecoste del inversor	0	42.6	0	0
TOTAL	41.5	138	29.8	217-515

Fuente: Burnell 2013

Por último, el sistema de control que gestiona el uso de las baterías y el motor eléctrico según las necesidades de conducción está principalmente constituido por placas de control y electrónica de potencia, cuyos componentes son muy similares a los que podríamos encontrar en un ordenador doméstico.

Desde el punto de vista de la normativa, habrá numerosísimas normas internacionales, europeas, nacionales, autonómicas y locales que pretenden proteger el medio ambiente que resultarán de aplicación a cada caso concreto de fabricación. Por solo citar algunas de las importantes a nivel nacional, puede hacerse referencia a las siguientes:

(i) Real Decreto Legislativo 1/2016, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación. Esta norma tiene por objeto evitar o, cuando ello no sea posible, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo, mediante el establecimiento de un sistema de prevención y control integrados de la contaminación, con el fin de alcanzar una elevada protección del medio ambiente en su conjunto (artículo 1). Se aplica a las instalaciones de titularidad pública o privada en las que se desarrolle alguna de las actividades industriales incluidas en las categorías enumeradas en el anejo 1, con excepción de las instalaciones o partes de las mismas utilizadas para la investigación, desarrollo y experimentación de nuevos productos y procesos (artículo 2), sujetándolas a una autorización ambiental integrada y a otras obligaciones que se incluyen en la norma.

De entre las actividades sujetas a esta autorización se encuentran, por ejemplo, ciertas instalaciones de combustión con una potencia térmica nominal total igual o superior a 50 MW (apartado 1.1 del anejo 1), ciertas instalaciones para la transformación de metales ferrosos (apartado 2.3), instalaciones para la fabricación de vidrio (incluida la fibra de vidrio) con una capacidad de fusión superior a 20 toneladas por día (apartado 3.3), instalaciones químicas para la fabricación de productos químicos orgánicos e inorgánicos (apartados 4.1 y 4.2), instalaciones para la valorización o eliminación de residuos peligrosos con una capacidad de más de 10 toneladas por

día que realicen determinadas actividades (apartado 5.1), e instalaciones para tratamiento de superficie de materiales, de objetos o productos con utilización de disolventes orgánicos (en particular para aprestarlos, estamparlos, revestirlos y desengrasarlos, impermeabilizarlos, pegarlos, enlazarlos, limpiarlos o impregnarlos) con una capacidad de consumo de disolventes orgánicos de más de 150 kg de disolvente por hora o más de 200 toneladas/año (apartado 10.1).

(ii) Ley 21/2013, de evaluación ambiental. Entre otras cosas, esta ley establece las bases que deben regir la evaluación ambiental de los proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente mediante la integración de los aspectos medioambientales en la elaboración y autorización de dichos proyectos; el análisis y la selección de las alternativas que resulten ambientalmente viables; el establecimiento de las medidas que permitan prevenir, corregir y, en su caso, compensar los efectos adversos sobre el medio ambiente; y el establecimiento de las medidas de vigilancia, seguimiento y sanción necesarias (cf. artículo 1).

Entre otros, quedan sujetos a esta Ley proyectos tales como algunos referidos a la industria extractiva (grupo 2), la industria energética (grupo 3), y plantas integradas para la fundición inicial del hierro colado y del acero (apartado 4.b).

Asimismo, esta ley establece los principios que informarán el procedimiento de evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos.

(iii) Ley 34/2007, de calidad del aire y protección de la atmósfera. Esta ley tiene por objeto establecer las bases en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica con el fin de evitar y cuando esto no sea posible, aminorar los daños que de ésta puedan derivarse para las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza (artículo 1). Se aplica a todas las fuentes de los contaminantes relacionados en el anexo I correspondientes a las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera enumeradas en el anexo IV ya sean de titularidad pública o privada.

Pueden así citarse como contaminantes relacionados en el anexo I óxidos de azufre y otros compuestos de azufre, óxidos de nitrógeno y otros compuestos de nitrógeno, óxidos de carbono, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos orgánicos persistentes, metales y sus compuestos, y material particulado (incluidos PM10 y PM2,5).

De entre las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera enumeradas en el anexo IV cabe citar a título de ejemplo los procesos industriales con combustión, que incluyen calderas, turbinas de gas, motores y otros; hornos de procesos sin y con contacto; procesos industriales sin combustión (por ejemplo, industria del hierro y el acero y en las coque-rías, industria de metales no féreos, industria química orgánica), industria y uso de materias minerales, la producción de baterías o acumuladores, y la distribución de gasolina.

Nótese por último que de acuerdo con la disposición adicional séptima de esta Ley el Gobierno elaborará una ley de movilidad sostenible que incluirá la obligación de la puesta en marcha de planes de transporte de empresa que reduzcan la utilización del automóvil en el transporte de sus trabajadores, fomenten otros modos de transporte menos contaminantes y contribuyan a reducir el número y el impacto de estos desplazamientos. En relación con esta disposición debe mencionarse la Ley 2/2011, de economía sostenible, cuyos artículos 99 a 106 se refieren a la movilidad sostenible, y regulan cuestiones tales como los principios en materia de movilidad sostenible y los objetivos de la política de movilidad sostenible (artículos 99 y 100), y los planes de movilidad sostenible (artículos 101 y 102).

(iv) Real Decreto Legislativo 1/2001, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Esta Ley tiene por objeto regular el dominio público hidráulico («DPH»), el uso del agua y el ejercicio de las competencias atribuidas al Estado en las materias relacionadas con dicho dominio en el marco de las competencias delimitadas en el artículo 149 de la Constitución; también es objeto de esta Ley el establecimiento de las normas básicas de protección de las aguas continentales, costeras y de transición. Incluye entre otras normas sobre la administración pública del agua, la planificación hidrológica y la utilización del DPH (por ejemplo, concesión para tomar agua y autorización para verter aguas residuales).

(v) Ley 1/2005, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. Esta Ley tiene por objeto la regulación del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, para fomentar reducciones de sus emisiones de una forma eficaz y de manera económicamente eficiente. Se aplica a las emisiones de los gases incluidos en el anexo I (dióxido de carbono, perfluorocarburos, óxido nitroso) generadas por las actividades a las que se refiere dicho anexo, tales

como la combustión en instalaciones con una potencia térmica nominal superior a 20 MW; la producción de arrabio o de acero (fusión primaria o secundaria), incluidas las correspondientes instalaciones de colada continua de una capacidad de más de 2,5 toneladas por hora; la producción y transformación de metales féreos (como ferroaleaciones) cuando se explotan unidades de combustión con una potencia térmica nominal total superior a 20 MW; y la fabricación de vidrio incluida la fibra de vidrio, con una capacidad de fusión superior a 20 toneladas por día.

Además de estas normas, a los efectos de este trabajo interesa destacar el Real Decreto 20/2017, de 20 de enero, sobre los vehículos al final de su vida útil, que tiene por objeto establecer medidas destinadas a la prevención de la generación de residuos procedentes de vehículos y a la recogida, a la preparación para la reutilización, al reciclado y otras formas de valorización de los vehículos al final de su vida útil, incluidos sus componentes, para así reducir la eliminación de residuos y mejorar la eficacia en la protección de la salud humana y del medio ambiente a lo largo del ciclo de vida de los vehículos (artículo 1).

En este contexto, este Real Decreto impone, entre otras, las siguientes obligaciones a los productores de vehículos (artículo 4):

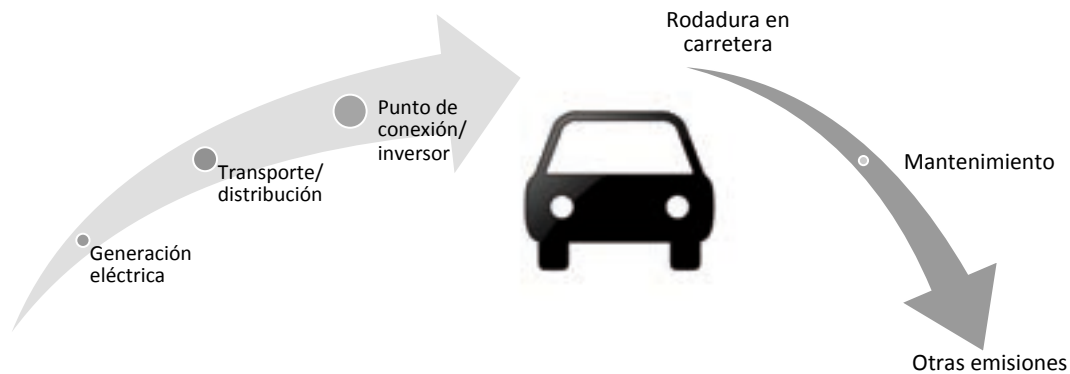
- Diseñar, en colaboración con los fabricantes de materiales y equipamientos, los distintos elementos de los vehículos de forma que en su fabricación se limite el uso de sustancias peligrosas. A tal efecto, queda prohibida la utilización de plomo, mercurio, cadmio y cromo hexavalente en los materiales y componentes de los vehículos (con algunas exenciones, condiciones y fechas que figuran en el anexo I del Real Decreto).
- Diseñar y fabricar los vehículos y los elementos que los integran de forma que se facilite la reutilización, el desmontaje, la descontaminación, la preparación para la reutilización y la valorización de los vehículos al final de su vida útil, y se favorezca la integración en los nuevos modelos de materiales y componentes reciclados.
- Utilizar normas de codificación de las piezas de los vehículos que permitan la adecuada identificación de los componentes que sean susceptibles de reutilización o valorización.

USO ↓

En esta segunda fase, se consideran las emisiones debidas al uso de éste (emisiones directas) y también las emisiones asociadas a la producción del combustible (emisiones indirectas), que de forma resumida se muestran en la figura 3.

Las emisiones directas de un vehículo tienen que contemplar las emisiones directas del combustible, las asociadas a la rodadura, y las correspondientes a las distintas tareas de mantenimiento del mismo.

FIGURA 3
EMISIONES ASOCIADAS AL USO DEL VE



Fuente: del Duce 2013

El proceso de mantenimiento predictivo de un VE frente a un VC es mucho más reducido. En ambos casos será necesario llevar una revisión periódica de elementos como líquidos de freno y refrigeración, así como el filtro de aire del habitáculo; no obstante, en el VE no es necesario incluir cambios de aceite (motor o caja de cambios), así como los filtros de aceite, aire, carburante, o las correas de distribución y elementos accesorios. Por su parte la batería del VE no requiere mantenimiento, dado que en su mayoría los fabricantes ofrecen esquemas de alquiler o incluso garantía de largo plazo de las mismas. Esto hace que el mantenimiento del VE sea en torno a un 40% menor que el VC (Raustad 2017).

Por su parte, el mantenimiento correctivo, asociado a las posibles averías, es notablemente inferior en el VE, dado que el motor eléctrico, al disponer de menos elementos mecánicos, es mucho más simple y robusto que un motor de combustión tradicional, evitando problemas tradicionales asociados a la posible rotura de correa de distribución, problemas en los inyectores, catalizador, caudalímetro, etc.

Respecto a las emisiones indirectas asociadas al consumo de energía eléctrica del VE hay que tener en cuenta tanto la generación como su transporte hasta el punto de consumo. Por un lado depende de las tecnologías de generación que producen en cada momento la energía eléctrica, donde la generación de origen renovable es libre de emisiones de CO₂ mientras que las tecnologías térmicas no lo son. Esta energía es transportada por las redes eléctricas de transporte y distribución eléctrica hasta los puntos de carga, y en este proceso hay unas pérdidas promedio del 15%. Si consideramos el proceso completo de generación a punto de consumo, en países como España (con un mix tecnológico en parte renovable), habría unas emisiones medias de 0.44 ton CO₂/MWh, mientras que otros países como Polonia con un mix más térmico las emisiones ascenderían a 1.91 ton CO₂/MWh (JRC 2017). Por último, el consumo de energía en la batería

de un VE depende del número de ciclos y vida útil de la misma, siendo razonable considerar una vida útil de 150.000 km (Notter *et al.* 2010) y un consumo promedio de 17kWh cada 100km, suponiendo una eficiencia del tren de potencia del 80%.

Las emisiones de partículas están asociadas tanto a la combustión en el caso de los VC como al propio movimiento del coche. En concreto hasta un 90% de las partículas PM10 y un 85% de las partículas PM2,5 (inferiores o iguales a un diámetro de 10 y 2,5 micras respectivamente) se debe a factores ajenos a la propia combustión en el motor (Timmers 2016). Éstas se generan por el desgaste de los frenos, o por el contacto de la banda de rodadura con el asfalto, que desgasta las superficies del firme y el neumático y levanta las partículas.

Por lo que se refiere a la regulación sobre emisiones de vehículos debe citarse el Reglamento (CE) No 443/2009, del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros. De cara a futuro será preciso que la normativa que se dicte tenga en cuenta las emisiones asociadas al uso de vehículos de una forma holística: el hecho de que un VE no genere emisiones directamente no significa que su uso no las genere. La electricidad precisa para que ese VE se mueva se producirá en una planta en algún sitio, y esa planta generará emisiones que sin el uso de ese VE no se hubieran producido; por tanto, esas emisiones deberían imputarse al uso de ese VE.

FIN DE LA VIDA ÚTIL ↓

Cuando el vehículo termina su vida útil, se inicia un proceso de desmontaje y reciclado de sus distintos componentes, tal como se resumen la figura 4. En el proceso de reciclado de los VEs los componentes de

FIGURA 4
PRINCIPALES PROCESOS EN EL FINAL DEL CICLO DE VIDA DEL VE



Fuente: elaboración propia

valor son aquellos que tiene partes de metal, como el níquel, cobalto, manganeso, aluminio, cobre o acero. El acero se encuentra principalmente en la estructura de los coches, mientras que los otros componentes se suelen encontrar en el sistema de las baterías. El reciclado de cada metal precisa en muchos casos mucha energía para dicho proceso.

Respecto a la batería, el proceso parte de un horno piro-metalúrgico, cuyo objetivo es recuperar el cobalto y/o níquel. Mientras que el Cobalto se encuentra típicamente en las baterías ion litio e ion-polímetro, el níquel pertenece a la tecnología NiMH (Umicore 2015).

La escoria está formada principalmente por compuestos de Aluminio, Silicio, Calcio, Hierro y también óxido de Litio. Esta escoria puede reciclarse como aditivo en la construcción o el cemento (Vadenbo 2009).

De acuerdo con el Real Decreto 20/2017 antes citado, los fabricantes tienen, además de las obligaciones antes referidas, las siguientes (artículo 4):

- Proporcionar a los gestores de vehículos al final de su vida útil la oportuna información para el desmontaje que permita la identificación de los distintos componentes y la localización de sustancias peligrosas, así como su adecuado tratamiento. Dicha información se facilitará, en el soporte que en cada caso se estime conveniente, en el plazo máximo de seis meses a partir de la puesta en el mercado de cada nuevo tipo de vehículo.
- Informar a los consumidores sobre los criterios de protección del medio ambiente tomados en consideración tanto en la fase de diseño y fabricación del vehículo como los adoptados para garantizar un correcto tratamiento ambiental al final de su vida útil; esta información se pondrá

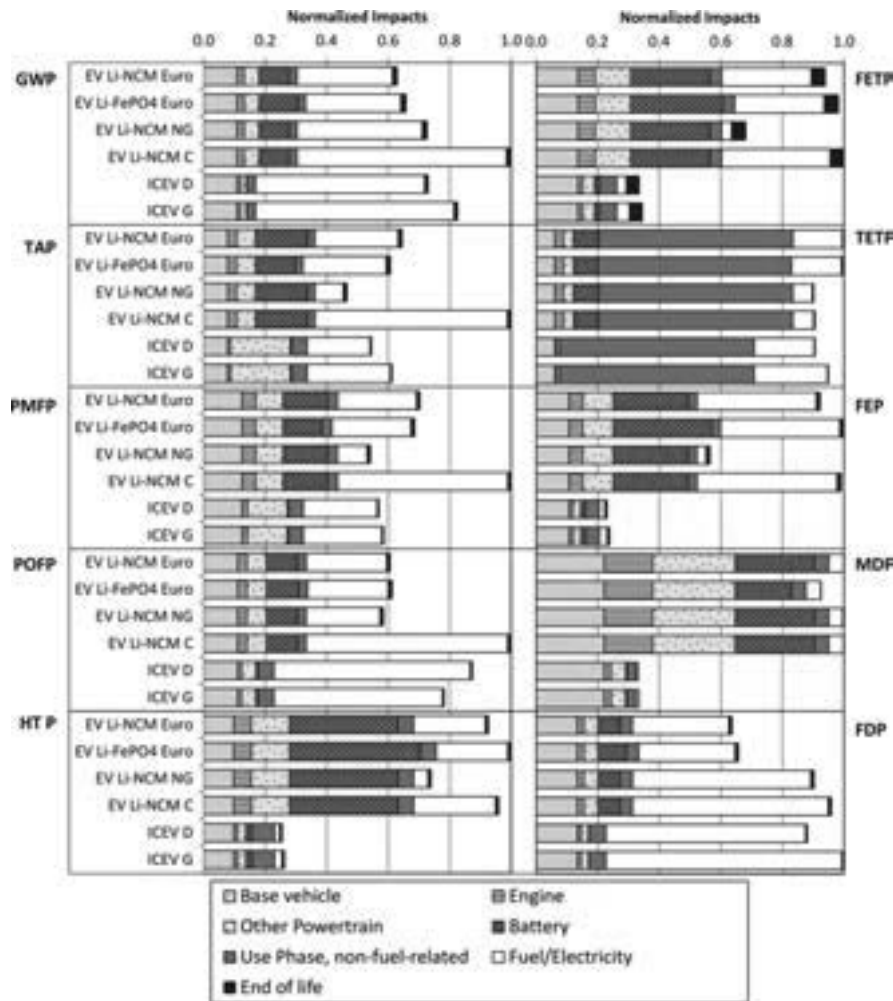
a disposición de los posibles compradores y se recogerá en el material publicitario que se utilice en la comercialización de vehículos. Entre otras cuestiones, los fabricantes deberán informar sobre:

1. El diseño de los vehículos y de sus componentes con vistas a su aptitud para la valorización.
2. El tratamiento correcto, por lo que respecta al medio ambiente, de los vehículos al final de su vida útil, en particular sobre la forma de retirar todos los líquidos y de desmontaje.
3. El desarrollo y optimización de las formas de preparar para la reutilización, de reciclar y de valorizar los vehículos al final de su vida útil y sus componentes.
4. Los avances logrados en cuanto a la valorización y el reciclado para reducir los residuos que hay que eliminar y en cuanto al aumento de los niveles de valorización y reciclado.

El Real Decreto incluye otras normas, tales como las que regulan las obligaciones relativas a la entrega y recogida de los vehículos para su tratamiento (artículo 5) y las instalaciones y operaciones de tratamiento (artículo 7). Destacamos las siguientes:

- Los agentes económicos (productores, concesionarios, distribuidores, compañías de seguros, instalaciones de recepción, talleres de reparación, CAT - centros autorizados para el tratamiento de los vehículos al final de su vida útil -, instalaciones de fragmentación, posfragmentación y otros gestores autorizados) deben cumplir, en el ámbito de su actividad, los objetivos de preparación para la reutilización, reciclado y valorización siguientes: un porcentaje total de preparación para la reutiliza-

FIGURA 5
IMPACTO NORMALIZADO DEL VEHÍCULO



(Global warming (GWP), terrestrial acidification (TAP), particulate matter formation (PMFP), photochemical oxidation formation (POFP), human toxicity (HTP), freshwater eco-toxicity (FETP), terrestrial eco-toxicity (TETP), freshwater eutrophication (FEP), mineral resource depletion (MDP), fossil resource depletion (FDP))

Fuente: Hawkins 2012

ción y valorización de al menos del 95 por 100 del peso medio por vehículo y año, y un porcentaje total de preparación para la reutilización y reciclado de al menos del 85 por 100 del peso medio por vehículo y año (artículo 8.1).

- Los CAT, además, cumplirán los siguientes objetivos: a partir del 1 de febrero de 2017 recuperarán para su preparación para la reutilización, y comercializarán piezas y componentes de los vehículos que supongan, al menos, un 5 % del peso total de los vehículos que traten anualmente; a partir del 1 de enero de 2021 recuperarán para su preparación para la reutilización, y comercializarán piezas y componentes de los vehículos que supongan, al menos, un 10 % del peso total de los vehículos que traten anualmente; y a partir del 1 de enero de 2026 recuperarán para su preparación para

la reutilización, y comercializarán piezas y componentes de los vehículos que supongan, al menos, un 15 % del peso total de los vehículos que traten anualmente (artículo 8.2).

- Los productores de vehículos garantizarán y en su caso financiarán la adecuada recogida y tratamiento de los vehículos al final de su vida útil. En concreto: cuando el vehículo al final de su vida útil tenga un valor negativo de mercado, el productor del vehículo sufragará dicho coste o se hará cargo directamente del tratamiento del vehículo (artículo 9.1).
- Los productores de vehículos, por sí mismos o junto con otros agentes económicos, garantizarán la disponibilidad de instalaciones de recogida en todo el territorio nacional (artículo 9.2).

CONCLUSIONES ↓

A modo de conclusión se incluye una comparativa entre los VE y los VC en función de sus impactos normalizados en su ciclo de vida en 10 categorías. En la figura 5 (Hawkins, 2012) se presentan los resultados que comparan vehículos del mismo segmento utilitario medio, tanto el VE (con baterías litio níquel cobalto manganeso LiNCM o litio hierro fosfato LiFePO₄ con suministro eléctrico promedio europeo, LiNCM sólo energía eléctrica producida con gas natural G o con carbón C) propulsados por motor térmico (ICEV G gasolina o ICEV D diesel).

Según estos resultados el VE tiene un impacto medioambiental, que se centra en la fase de fabricación de las baterías y el motor, mientras que el impacto del VC se produce fundamentalmente en su uso. Eso hace que el VE suministrado con un mix de generación europeo promedio permitiría reducir hasta un 24% el impacto sobre el calentamiento global en comparación con el VC (Hawkins, 2012) (Messagie, 2014).

Sin perjuicio de que en las tres etapas (fabricación, uso, fin de vida) se han dado avances notables para reducir los impactos ambientales, no cabe duda de que el futuro pasa por ser aún más exigente, en línea con los nuevos requerimientos derivados de la economía circular - que debe afectar obviamente a toda la economía y a toda la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA ↓

- Ager-Wick L and Hammer A (2017) *Life cycle assessment of electric vehicles*, 12th Concaawe Symposium.
- Baumann H, Tillman A-M (2004) *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund, Sweden, Studentlitteratur
- Burnell (2013) *Performance/cost comparison of induction-motor & permanent-magnet-motor in a hybrid electric car* Malcolm Burwell – International Copper Association James Goss, Mircea Popescu - Motor Design Ltd July 2013 – Tokyo
- Cliff R (2006) *Sustainable development and its implications for chemical engineering*. Chem Eng Sci 61:4179–4187.
- Curran M A (1996) *Environmental life-cycle assessment*. New York: McGraw Hill Professional.
- Del Duce A, et al (2013) *ELCAR Guidelines for the LCA of electric vehicles*, Deliverable 2.1 of E-mobility Life Cycle Assessment Recommendations, FP7 EU Project.
- Ecoinvent Centre (2010) *Ecoinvent data and reports*, v2.2, Dübendorf Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Ellingsen LA-W, Majeau-Bettez G, Singh B, et al (2014) *Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack*. J Ind Ecol 18:113–124.
- Hawkins T R et al (2012), *Comparative Environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles*, Journal of Industrial Ecology, vol 17, no. 1.
- IDTechEx (2014) *Electric Motors for Electric Vehicles 2013-2023: Forecasts, Technologies, Players*
- JRC (2017) *CoM Default Emission Factors for the Member*

States of the European Union Dataset Version 2017

Le Petit Yoann (2017) *Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability*, Transport & Environment

Messagie Maarten (2014) *Life cycle analysis of the climate impact of electric vehicles*, Transport & Environment

Notter DA, Gauch M, Widmer R, et al (2010) *Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles*. Environ Sci Technol 44:6550–6.

Raustad R. (2017) *Electric Vehicle Life Cycle Cost Analysis*, EVTC Electric Vehicle Transportation Center, Feb. 2017.

Tagliaferri C. et al (2016), *Life cycle assessment of future electric and hybrid 1 vehicles: a cradle-to-grave systems engineering approach*, Chemical Engineering Research and Design, vol 112, 298-309, Elsevier

Umicore (2015) *Battery recycling*. http://www.umicore.com/en/industries/automotive/umicore-battery_recycling/. Accessed 14 Sep 2015

UNEP (2011) *Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases. A basis for Greener Processes and Products*; United Nations Environment Programme

Vadenbo C (2009) *Prospective Environmental Assessment of Lithium Recovery in Battery Recycling*.

VRJH Timmers, PAJ Achten (2016) *Non-exhaust PM emissions from electric vehicles*, Atmospheric Environment, 2016 – Elsevier, vol. 134.