



***Inclusión de la **Variable Ambiental** en la **Etapa de Diseño** de los **Componentes Principales del VE.**
Principales Conclusiones.***

Eco-Design ***for Eco-Innovation:*** ***the Green-Car Case*** ***GREEN-CAR ECO-DESIGN***

Proyecto financiado por:



UE/EU – FEDER / ERDF

Julio de 2012

ÍNDICE

1. DESARMANDO AL VE. DEFINICIÓN DE SUS PRINCIPALES COMPONENTES. . 3	
1.1. BATERÍA.....	3
1.2. CONVERTIDOR	4
1.3. PUNTOS DE RECARGA	5
1.4. SISTEMA DE FRENOS.....	5
1.5. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	7
1.6. SISTEMAS AUXILIARES ALIMENTADOS POR ENERGÍAS RENOVABLES	8
2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO..... 9	
2.1. DE LAS BATERÍAS	9
2.1.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	9
2.1.2. <i>Metodología y resultados</i>	9
2.1.3. <i>Propuesta de Ecodiseño</i>	12
2.2. DEL CONVERTIDOR.....	13
2.2.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	13
2.2.2. <i>Metodología y resultados</i>	15
2.2.3. <i>Propuesta de Ecodiseño</i>	17
2.3. DE UN PUNTO DE RECARGA	18
2.3.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	18
2.3.2. <i>Metodología y resultados</i>	20
2.3.3. <i>Propuesta de Ecodiseño</i>	24
2.4. DEL SISTEMA DE FRENOS	24
2.4.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	24
2.4.2. <i>Metodología y resultados</i>	25
2.4.3. <i>Propuesta de Ecodiseño</i>	26
2.5. DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	26
2.5.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	26
2.5.2. <i>Metodología y resultados</i>	27
2.5.3. <i>Propuesta de Ecodiseño</i>	29
2.6. DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS	30
2.6.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas.</i>	30
2.6.2. <i>Metodología y resultados</i>	30
3. VERIFICANDO LAS VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE CADA COMPONENTE ECODISEÑADO. 33	
3.1. EN LA BATERÍA	33
3.1.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	33
3.1.2. <i>Metodología y resultados</i>	33
3.2. EN EL CONVERTIDOR.....	34
3.3. EN UN PUNTO DE RECARGA	34
3.3.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	34
3.3.2. <i>Metodología y resultados</i>	35

3.4. EN EL SISTEMA DE FRENOS.....	36
3.4.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	36
3.4.2. <i>Metodología y resultados</i>	37
3.5. EN EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	39
3.5.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	39
3.5.2. <i>Metodología y resultados</i>	39
3.6. EN PANELES FOTOVOLTAICOS	41
3.6.1. <i>Objetivo, alcance y etapas consideradas</i>	41
3.6.2. <i>Metodología y resultados</i>	41
3.6.3. <i>Conclusiones</i>	44
4. FUTURO TRABAJO EN EL MARCO DEL PROYECTO GREEN-CAR ECO-DESIGN	49

1. DESARMANDO AL VE. DEFINICIÓN DE SUS PRINCIPALES COMPONENTES.

El proyecto que enmarca la investigación que aquí se contempla es el proyecto “Eco-Design for Eco-Innovation: the Green-Car case” con acrónimo GREEN-CAR ECO-DESIGN, financiado por fondos FEDER a través del Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo INTERREG IVB SUDOE, con expediente número SOE2/P1/E326 (para más información visite nuestra página web www.greencar-ecodesign.eu).

Tiene entre sus objetivos prioritarios el estudio de la inclusión de la variable ambiental en la etapa de diseño de los componentes principales del vehículo eléctrico y pretende aumentar el conocimiento de su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida, consiguiendo productos más competitivos y con una mayor penetración en los mercados actuales. Tras el trabajo realizado en el GT2 del proyecto, cada uno de integrantes del consorcio se responsabilizó de abordar el estudio de un determinado componente. Veamos cómo fue el reparto y qué se ha obtenido con el trabajo realizado.

1.1. BATERÍA

El grupo de investigación del Instituto Politécnico de Setúbal ha sido el responsable del estudio de la batería principal del vehículo eléctrico (figura 1).

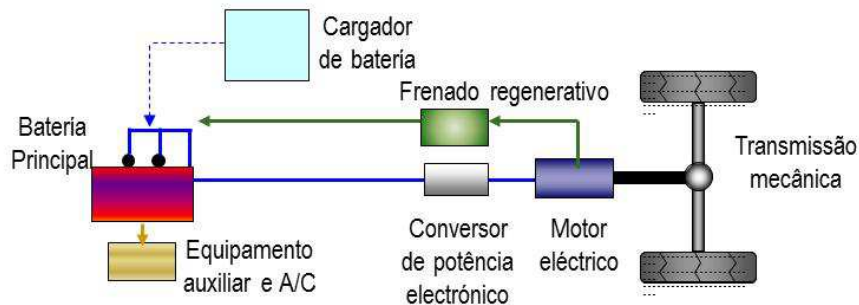


Figura 1. Esquema de funcionamiento de la batería de tracción en el vehículo eléctrico

En una primera fase del proyecto, a través de una búsqueda bibliográfica, se confirmó que en la actualidad las baterías de iones de litio (Li-Ion) dominan, de forma nítida, la oferta de los fabricantes de automóviles. Por esa razón, las baterías con la tecnología Li-Ion fueron seleccionadas como el tipo preferencial de baterías, a partir del cual se centraliza este estudio. De todos los tipos de baterías con tecnología Li-Ion, las baterías con cátodo LiFePO_4 se consideran de menor impacto medioambiental y de mayor seguridad. La batería seleccionada es una batería Li-ion, con 16,5kWh, 330V, 50Ah constituida por 500 células con cátodo de LiFePO_4 y ánodo de grafito. Este tipo de batería es similar a las baterías usadas en vehículos eléctricos con similares características al VE del proyecto, disponibles en el mercado. La gestión energética, y la gestión de temperatura de la batería se realiza mediante un dispositivo denominado BMS – Battery Management System (figura 2).



Figura 2. Prototipo de módulo de batería con el monitoreo del estado del sistema y balanceo de carga de las células con un BMS.

1.2. CONVERTIDOR

El grupo responsable de esta investigación, la Universidad de Mondragón, ha estudiado la inclusión de la variable ambiental en la etapa de diseño de un convertidor. Un convertidor de potencia, es un dispositivo electrónico que transforma la corriente continua en corriente alterna y viceversa. Su utilización está muy difundida en diversas aplicaciones como la generación de energía, el transporte ferroviario, marítimo y vertical (ascensores), y básicamente en cualquier otra aplicación en la que se necesite controlar una máquina eléctrica. Con la mejora continua que se está dando en el desarrollo de nuevos dispositivos de potencia (IGBTs, IGCTs,...) cada vez existen inversores más eficientes y con mayor capacidad de control.

Para poder ecoinnovar, la primera acción a realizar es el análisis ciclo de vida del producto existente. Para ello, se han seleccionado dos modelos de convertidor. Por un lado, el modelo de convertidor FAGOR MMC 2.50-RS-D1-A1-0-0 diseñado y desarrollado en la ciudad de Arrasate (Guipúzcoa) y por otra parte el modelo de convertidor CURTIS 1236 diseñada y desarrollado en EEUU, los dos productos se muestran en la figura 3. Este análisis sirve de guía para ver cuáles de las etapas son las que mayor impacto medioambiental generan y a partir de esta información poder marcar las estrategias de eco innovación



Figura 3. Convertidor Curtis (izquierda) convertidor Fagor (derecha)

1.3. PUNTOS DE RECARGA

La Fundación CARTIF ha sido la responsable del estudio ambiental de los puntos de recarga incluidos en el sistema-producto vehículo eléctrico. Se denomina estación de recarga al conjunto de equipos destinados a suministrar corriente alterna a vehículos eléctricos. En el marco de este proyecto se han estudiado las estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos Merlyn® modelo EVO4-8 del fabricante EMERIX¹ (figuras 4 y 5) de un solo conector, es decir, una única toma de corriente o punto de alimentación para vehículos eléctricos.



Figura 4. Estación de recarga para un aparcamiento cerrado.



Figura 5. Poste de recarga para vía pública.

Las características funcionales que tienen ambas estaciones son las capacidades exigidas para todos los puntos de recarga. Han sido las elegidas para llevar a cabo su estudio ambiental.

1.4. SISTEMA DE FRENOS

El grupo de investigación de Fundació CTM Centre Tecnològic acometió el estudio ambiental de dos componentes del sistema de frenos: la pinza y la pastilla. Estos dos componentes han sido seleccionados para el estudio, pues se considera que los frenos junto con la dirección y los neumáticos constituyen los sistemas más importantes que dispone el vehículo para evitar los riesgos presentes en la conducción. Este hecho hace necesario el estudio de ambas componentes con el fin de observar qué aportación ambiental pueden proporcionar al vehículo eléctrico. Además, cabe añadir, que el proyecto pretende incorporar en el diseño del vehículo eléctrico la frenada regenerativa con el fin de aumentar la eficiencia energética del

¹Emerix Iberinnova S.L -- C/ Cobalto 40, Pol. San Cristóbal, 47012 Valladolid / España (Spain) Tel. +34 983 290729/ Mov. +34 686 047 831/ Responsable = jose.aispuro@emerix.es

vehículo. Dentro de la frenada regenerativa las pastillas juegan un papel importante, pues existen estudios científicos que indican que el desgaste de la pastilla disminuye al incorporar la frenada regenerativa, con lo que su contribución ambiental mejora.

Uno de los sistemas fundamentales de todo vehículo automóvil es el que le confiere la capacidad de reducir la velocidad incluso llegando a detenerlo si así lo decide el conductor. Dicho sistema es el sistema de frenado. El sistema de frenado está diseñado para que a través del funcionamiento de sus componentes se pueda detener el vehículo a voluntad del conductor. Dentro del sistema de frenado y como ya se ha comentado, se analizarán la pinza y la pastilla (figura 6 a y b), mientras que el disco de freno queda fuera del alcance de este estudio debido a la falta de datos primarios.

La pinza de freno es el soporte de las pastillas y los pistones de freno. Las pastillas de freno están diseñadas para producir una alta fricción con el disco para frenar. Deben ser remplazadas regularmente. Los fabricantes han implementado distintas maneras de avisar al conductor de que estas tienen que remplazarse: con un sensor que alerta al conductor cuando es necesario hacerlo; con una pieza de metal que provoca que suene un chillido cuando están a punto de gastarse; o incorporando un material que cierra un circuito eléctrico que hace que se ilumine un testigo en el cuadro del conductor.



(a) Pinza de freno



(b) Pastilla de freno

Figura 6. Componentes estudiados

En este proyecto se ha realizado un análisis ambiental de una pinza y una pastilla convencional con el fin de estudiar su impacto sobre el medio ambiente en todas las etapas de su vida y posteriormente incorporar la variable ambiental para la mejora de estos componentes.

Del análisis ambiental inicial de la pinza se observa que la etapa que presenta una mayor contribución al impacto ambiental es la de extracción y transformación de materiales, por lo que en la ACV posterior se centró en el estudio de una sustitución del material que podría aportar una disminución de peso en el componente y así contribuir en una disminución del peso total del vehículo eléctrico y al mismo tiempo tratar de influir en la reducción del consumo energético durante la fase de uso del vehículo.

Respecto la pastilla se observó que su principal problemática ambiental estaba en el material de fricción debido a su contenido en cobre y otros materiales tóxicos. Se sabe que las pastillas de freno se desgastan, y el cobre y otros metales se depositan en las

carreteras, y llegan a los arroyos y ríos. En las zonas urbanas, las pastillas de freno aportan hasta la mitad del cobre que entra en nuestros cursos de agua. El cobre es altamente tóxico para las especies acuáticas. La sustitución y/o disminución de la presencia de cobre y otros metales tóxicos de los materiales de fricción ayudará a contribuir positivamente en el medio ambiente. Para ello es necesaria la sustitución de estos materiales nocivos por otros materiales más ecológicos (eco-friendly), que tengan como mínimo las mismas prestaciones que los anteriores y con un coste aceptable.

1.5. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

El Instituto Andaluz de Tecnología centra su trabajo en este proyecto en el ecodiseño del sistema de climatización de un vehículo eléctrico, sistema responsable de entre un 5-10 % del consumo eléctrico de las baterías, en especial en un clima más exigente como el nuestro.

La función principal de este sistema es conseguir y mantener una temperatura de confort dentro de la cabina del vehículo eléctrico. Para desempeñar esta función el sistema objeto del ACV se compone de los siguientes subsistemas:

- Sistema generador de frío, utilizando un compresor de fluido con motor eléctrico.
- Sistema generador de calor, con sistemas PTC Heater core, también empleados por Nissan y Toyota.

Se ha elegido como referencia para el estudio el vehículo Nissan Leaf ya que es uno de los primeros vehículos eléctricos de fabricación seriada, por lo que debe ser menos complicado disponer de información del mismo. Los componentes principales del sistema de refrigeración son:

- Compresor eléctrico.
- Condensador y Filtro deshidratador (depósito acumulador) y ventilador.
- Presostato (válvula trinaria).
- Válvula de expansión.
- Sonda de la válvula de expansión.
- Evaporador.
- Ventilador del evaporador.
- Difusores y conducciones de aire.
- Sistema de tuberías y componentes (mangos, codos, adaptadores, etc.).
- Conexiones de seguridad de alta presión y de baja presión.
- Agente frigorífico (gas refrigerante).
- Aceite del refrigerante.
- Carcasa de la unidad HVAC.
- Filtro de aire.

Los componentes principales del sistema de calefacción son:

- Unidad de calor o *PTC heater*.
- Bomba de agua.

- Vaso de expansión.
- Fluido del sistema de calor y sensor de temperatura.
- Tuberías y conexiones.
- Radiador.
- Carcasa de la unidad HVAC.

Ambos sistemas comparten componentes de la unidad HVAC, como los conductos, el impulsor de aire (*blower*) o los difusores.

1.6. SISTEMAS AUXILIARES ALIMENTADOS POR ENERGÍAS RENOVABLES

El trabajo realizado anteriormente por el grupo responsable de esta investigación, l'Ecole Supérieure des Technologies Industrielles Avancées, (ESTIA), ha demostrado que existían varias fuentes de energía renovable susceptibles de ser utilizadas en el vehículo. Las principales fuentes identificadas son las siguientes:

- Vehículo equipado con un techo con paneles fotovoltaicos.
- Integración de un aerogenerador en el vehículo.
- Recuperación de la energía en los amortiguadores.
- Recuperación del calor.
- Utilización de materiales piezoeléctricos.

El interés así como la madurez tecnológica de cada una de esas fuentes fue asimismo comentado. Las dos soluciones que parecen presentar el mayor interés son el empleo de paneles fotovoltaicos y la recuperación de energía en los amortiguadores. Los paneles solares se utilizan actualmente en vehículos como por ejemplo el Prius, pero su uso no es generalizado. En cuanto a los amortiguadores, todavía no han sido objeto de un estudio exhaustivo.

Así, la continuación del estudio se centrará en las dos tecnologías identificadas como potencialmente interesantes: los paneles fotovoltaicos y la recuperación de la energía en los amortiguadores.

Para estas dos tecnologías, es muy difícil estimar a priori la cantidad de energía recuperable ya que ésta dependerá mucho del uso que se dé al vehículo:

- Para los paneles fotovoltaicos: insolación, estacionamiento en aparcamiento subterráneo o garaje, utilización en zonas urbanas umbrías...
- Para los amortiguadores: estado de las carreteras, frecuencia de uso del vehículo...

A priori, y considerando el sol como la mayor fuente de energía, es razonable pensar que los paneles fotovoltaicos producirán más energía que los amortiguadores.

Por lo tanto, se ha elegido realizar el análisis del ciclo de vida (ACV) de los paneles fotovoltaicos. El objetivo del estudio no es solamente el análisis del ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos, sino comparar el impacto provocado por el uso de paneles fotovoltaicos en un vehículo eléctrico en lugar de la electricidad de la red, según diferentes tecnologías y diferentes localizaciones geográficas.

2. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.

2.1. DE LAS BATERÍAS

2.1.1. *Objetivo, alcance y etapas consideradas*

El objetivo principal es conocer el impacto medioambiental de la batería de Li-Ion seleccionada, a lo largo de su ciclo de vida, para después, con los resultados obtenidos, poder proponer mejoras en el diseño que den lugar al mejor desempeño ambiental de la batería.

Esta parte del estudio sólo está centrado en la batería y todo a lo que ella se conecta queda fuera del sistema. En otras palabras, el cargador de la batería, el motor eléctrico y los sistemas auxiliares que alimentan están fuera de los límites del sistema en estudio. Por ejemplo, en la fase de uso no se considera el consumo eléctrico de VE, sólo son considerados los consumos de electricidad que pueden ser asignados a la batería.

El ciclo de vida de la batería comienza con la extracción de la materia prima, la cual es transportada y tratada para la obtención de materiales y componentes que sirven para la fabricación de las células. Estas células se unen en la batería con otros componentes. Una vez que se tienen todas las piezas, se realiza el montaje de las mismas, obteniendo así el conjunto de la batería. Ésta es transportada a la planta de montaje de vehículos donde se coloca dentro del vehículo eléctrico. Las siguientes etapas de la vida de la batería corresponden al uso y fin de vida.

En una etapa temprana del proyecto se consideró la posibilidad de estudiar todas las fases del ciclo de vida de las baterías. Pero con el transcurso de la investigación, se encontró que no hubo ningún acceso a los datos de las etapas iniciales del procesamiento de los materiales y de la fabricación de las células. Tampoco hubo ningún acceso a los datos de montaje de batería en el VE. Por estas razones los límites del sistema se cambiaron y no incluyen las etapas anteriores.

2.1.2. *Metodología y resultados*

Antes de comenzar el ACV, se realizó un estudio bibliográfico sobre cuestiones ambientales clave identificadas en otros estudios ACV de baterías de iones de litio. Algunos puntos críticos han sido objeto de investigación, es el caso de:

- a) Disponibilidad de recursos: litio;
- b) Toxicidad e impacto medioambiental de los materiales usados: composición química, tipo de materiales de los cátodos y ánodos y el tipo de electrolito;
- c) Eficiencia energética de la batería en la fase de uso;
- d) Final de vida de la batería: la influencia de no realizar reciclaje, tecnologías de reciclaje, materiales recuperados.

La metodología utilizada para este estudio está de acuerdo con la norma ISO 14044: 2006 y permite evaluar los potenciales impactos ambientales asociados al ciclo de vida de los productos.

Hemos seguido la metodología propuesta, según los pasos definidos en la norma ISO 14040: definición de la finalidad, alcance y límites del sistema, definición de la unidad funcional, inventario y cuantificación de los impactos ambientales y por último, interpretación de resultados. Para el penúltimo paso se utilizó el software SimaPro®.

No fue posible confirmar con los productores los datos sobre los materiales y los procesos de fabricación de la batería seleccionada ni obtener datos con confianza. Por lo tanto, se ha utilizado, en gran medida, los datos proporcionados por la base de datos Ecoinvent, con todos los procesos y subprocesos de fabricación de una batería de composición similar y presuponiendo que los impactos ambientales también serían similares, validando algunos datos en la literatura y con los ensambladores de baterías instalados en Portugal.

Debido a las dificultades de acceso a los datos de las etapas de diseño y producción de baterías, se le dio especial énfasis a la etapa de "Uso", donde la eficiencia energética de la batería es el factor más importante. La eficiencia de una batería depende de sus características técnicas que pueden ser objeto de ecodiseño. La masa total de la batería de litio es una de las características técnicas que influye directamente en el consumo del VE.

En la etapa de uso deben tenerse en cuenta las pérdidas de energía derivadas de la batería que son: las pérdidas por ineficiencia de batería y las pérdidas en el VE por el transporte de la batería de litio.

Potencialmente, los diferentes valores de consumo de energía asociable directamente a la batería pueden dar indicaciones de ecodiseño en la fase de uso, debido a los diferentes valores correspondientes a las diferentes formas de uso de un VE, por ejemplo, mayor o menor velocidad en el movimiento o grado de utilización del AC y otros equipos consumidores de electricidad. Como el comportamiento ambiental de la batería en la fase de uso depende de muchos factores y hay una gran incertidumbre en los datos utilizados para calcular el impacto ambiental, se han probado varios escenarios en función de un escenario base, a fin de evaluar el efecto sobre los resultados.

Para la etapa de fin de vida se considera que la batería después de 100.000 km y 10 años de vida se recicla por la tecnología pulverometalúrgica.

La figura 7 muestra los impactos ambientales para varias categorías de impacto, de acuerdo con el método Eco-indicador 99 H/A, en todas las etapas de ciclo de vida consideradas para el escenario base.

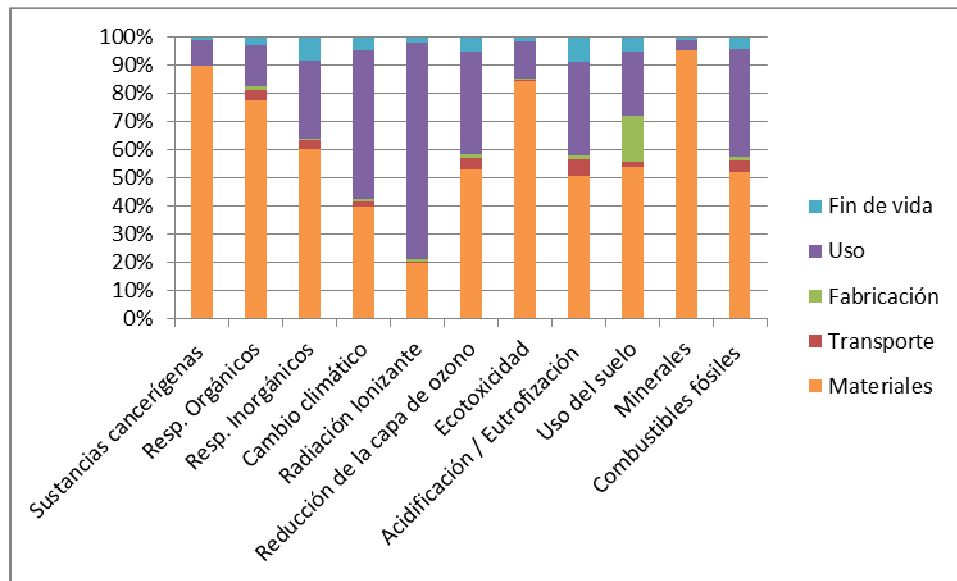


Figura 7. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de una Batería de Litio. Metodología Eco-indicador 99 H/A, escenario base.

Del análisis del gráfico en la figura 7 se constata que la etapa “Materiales” tiene un impacto más significativo en casi todas las categorías de impacto menos en la “Radiación Ionizante” derivada de la electricidad en la fase de “Uso”. Le sigue la fase de “Uso” donde el consumo de electricidad asociado origina impactos también significativos en muchas categorías de impacto.

Los resultados muestran que la fase de "Materiales" es responsable de los principales impactos ambientales de las baterías. No fue posible, en esta fase del proyecto, llegar ya a conclusiones sobre la concepción de baterías, mejores tecnologías o mejores soluciones de fabricación y uso que se tradujesen en menor impacto medioambiental. Aun así, los resultados indican que es necesario conocer mejor la fase “Materiales”.

Los resultados muestran que incluso con una mayor eficiencia en la fase de uso, los principales impactos ambientales son todavía elevadas, debido a que los materiales de las baterías tienen una gran influencia en el resultado final. El hecho de que la batería sea muy pesada contribuye a aumentar el consumo de electricidad en la fase de uso. Al final de la vida de la batería, el elevado peso del material a tratar provoca impactos ambientales también importantes.

Se concluyó que la mejor manera de reducir el impacto ambiental de la batería sería reducir su tamaño. Sin embargo, esta solución tiene consecuencias en el plano de la autonomía del vehículo, es decir, disminuye la autonomía por debajo de los valores que se han establecido para este proyecto. Se buscó entonces otra solución que es nuestra propuesta de ecodiseño.

2.1.3. Propuesta de Ecodiseño

El problema que hemos querido superar es el siguiente, la batería de Li-Ion usada en este estudio es muy pesada (aproximadamente 200 kg) y tiene una autonomía de 140 km, que sólo es utilizada parcialmente la mayor parte del tiempo (40 km es el promedio diario).

Así, se propone reducir la batería a la mitad del tamaño y agregar un extensor de autonomía que consta de un grupo motor-generator. Para el uso diario (más frecuente) la energía proporcionada por la batería de litio es suficiente, pero para viajes más largos, el extensor de autonomía proporciona la energía eléctrica necesaria, manteniendo el vehículo trabajando como eléctrico.

Un extensor de autonomía se define como un generador de electricidad instalado en el vehículo eléctrico que alimenta la batería mientras el vehículo está en marcha. Esto puede ser un conjunto de motores de combustión interna de baja cilindrada, alimentado por gasolina o etanol y un generador de electricidad (figura 8).



Figura 8. Representación gráfica del extensor de autonomía para un vehículo eléctrico:
[Fuente: <http://www.chevyproductreport.com/tag/jersey-city-chevrolet-dealer/>]

El objetivo es aumentar la autonomía del vehículo eléctrico sólo cuando es necesario. La batería se recarga durante la noche y el vehículo circula inicialmente en modo exclusivamente eléctrico, con la extensión de la autonomía apagada. Cuando el límite de carga mínima de la batería está cerca o se espera que se alcance, el extensor de autonomía se conecta y se recarga la batería con el vehículo en curso.

El extensor de autonomía propuesto se construye basado en las siguientes características:

- ➔ Un grupo motor-generator de 5kW de gasolina con 80 kg de masa, en el que el motor tiene sólo un cilindro.
- ➔ Este grupo alimenta la batería de litio para largas distancias.
- ➔ La batería de litio tendrá una masa de aproximadamente 100 kg.
- ➔ En principio, la batería tendrá una autonomía de unos 70 km.

Se estima que el grupo formado por batería de litio más el extensor de autonomía, dará una autonomía total de 250 km, suponiendo un depósito de 12 litros de gasolina.

2.2. DEL CONVERTIDOR

2.2.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

El objetivo principal es conocer el impacto ambiental de las dos tecnologías de convertidor a lo largo de todo su ciclo de vida y definir mejoras que optimicen el producto desde un punto de vista ambiental y tecnológico.

Para el análisis del ciclo de vida, es importante la definición de la unidad funcional. Esta es la medida de la función del sistema estudiado y da una referencia de cuáles son las entradas y salidas relacionadas. Esto permite la comparación de dos sistemas diferentes. En este proyecto se ha tomado como unidad 100.000 km, los cuales equivalen a un único convertidor

Antes de comenzar con el ACV es trascendental determinar qué unidades de procesos se incluirán en el estudio. Tal como se muestra en la figura 9 el límite del sistema del convertidor se delimita al análisis medioambiental de la etapa de adquisición de **materiales** y piezas necesarias para la fabricación del convertidor y sus procesos de fabricación asociados, el **transporte** de estas piezas, desde la planta de distribución hasta la planta de fabricación del convertidor, la **fabricación** del convertidor, el cual se compone de diversos procesos (fabricación y testeado circuito convertidor, ensamblaje convertidor, Burn-in test y etiquetado y empaquetado), el transporte de los residuos generados durante el proceso de fabricación a los distintos gestores autorizados, el consumo energético durante la fase de **uso** y por último, el transporte de los productos y subproductos generados a los distintos gestores autorizados y su posterior tratamiento o **fin de vida**.

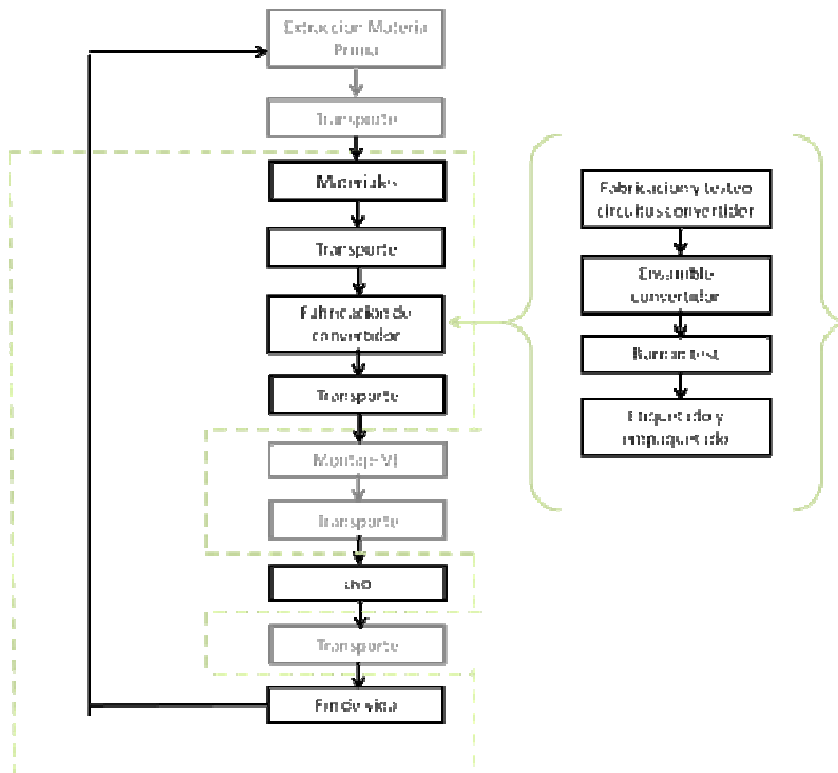


Figura 9. Límites de sistema del convertidor FAGOR

A continuación se define los elementos de entrada y salida de cada etapa:

Materiales

En esta etapa se han introducido todas las piezas que componen el convertidor y sus procesos de producción asociados, en los casos en los que se conozca. También se han tenido en cuenta los materiales auxiliares como son el estaño, barniz, adhesivo, líquidos, lámparas y disolventes.

Las salidas de esta etapa están relacionadas con las emisiones CO₂ que se genera en los procesos de producción de las piezas mencionadas.

Transporte

Las entradas de la fase de transporte contemplan, por una parte, el gasóleo necesario para transportar todo el material desde la planta distribuidora hasta la planta de producción del convertidor y por otra parte, el gasóleo necesario para el transporte de los residuos generados durante el proceso de fabricación hasta el gestor correspondiente.

Las salidas generadas durante esta fase son las emisiones CO₂.

Fabricación del convertidor

Las entradas que se han contemplado en esta fase son las correspondientes al consumo energético de la maquinaria requerida para la fabricación del convertidor

Las salidas corresponden a los residuos generados durante esta etapa. También se ha contemplado el propio producto, el convertidor, aunque este siga dentro del sistema

Uso

La entrada de esta fase está asociada al consumo energético, más concretamente al consumo eléctrico necesario para su correcto funcionamiento. Las salidas asociadas son las emisiones CO₂.

Fin de vida

Como entrada se contemplan los residuos generados durante la fase de uso: escoria, lámparas y aguas contaminadas y la gestión de las mismas. Además del propio convertidor y el consumo energético que supone el tratamiento fin de vida de los materiales y pieza del convertidor.

CURTIS es una tecnología desarrollada en los EE.UU por ello la recopilación de datos para el ACV ha requerido mucho esfuerzo y los resultados obtenidos, en ciertos casos, han sido ambiguos. Las dos etapas que más complicaciones han mostrado a la hora de obtener datos han sido la etapa de transporte y la etapa de fabricación. En cuanto a la etapa de transporte, no se ha podido lograr información concluyente. Otro de los grandes retos ha sido la etapa de fabricación. La recopilación de entradas y salidas de esta etapa ha sido una labor ardua en la que los resultados han sido muy confusos e imprecisos. Por ellos, frente a la falta de información se ha optado por utilizar datos del convertidor FAGOR.

2.2.2. Metodología y resultados

Las metodologías utilizadas para el ACV han sido por una parte la metodología Eco-indicador'99 H/A y por otra la metodología CML Baseline 2000.

Tal como se muestra en la figura 10, los resultados de impacto ambiental del convertidor FAGOR obtenidos con la metodología Eco-indicador'99 H/A nos indica que la etapa de uso es con gran diferencia la que mayor carga ambiental supone en casi todas las categorías de impacto excepto, seguida por la etapa de materiales, La fabricación, el transporte y el fin de vida apenas repercuten en el impacto medioambiental.

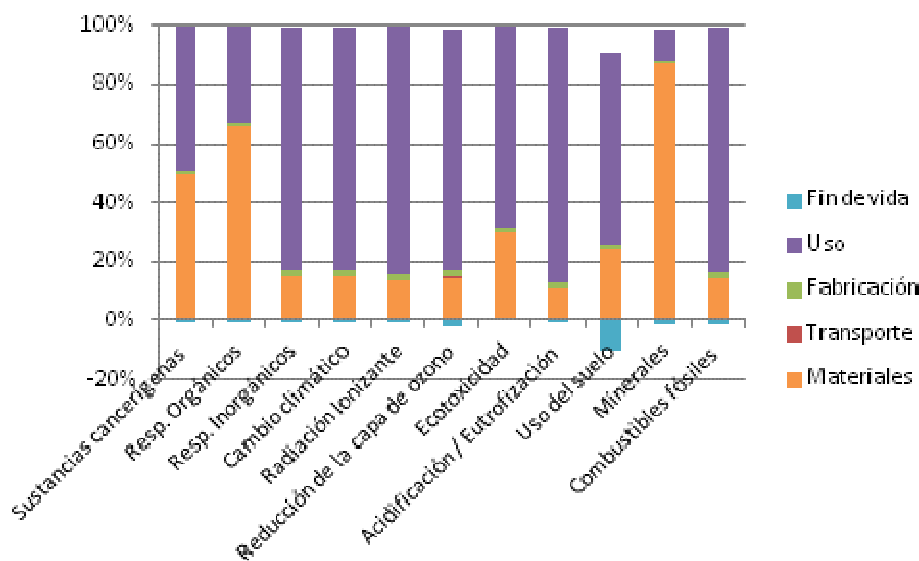


Figura 10. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de 1 convertidor FAGOR. Metodología Eco-indicador'99 H/A

La categoría de impacto más afectada por el consumo eléctrico que se da en la etapa de uso con un porcentaje del 86% es la acidificación/eutrofización, seguida por la radiación ionizante, resp. Inorgánicos, cambio climático, reducción de la capa de ozono y combustibles fósiles con porcentajes que alcanzan el 83%, y uso del suelo y ecotoxicidad con el 80% y 70% respectivamente. Muy por debajo se encuentran las categorías de sustancias cancerígenas, Resp. Orgánicos y minerales con 49%,33% y 11% respectivamente.

Los resultados obtenidos con la metodología CML Baseline 2000 que aparecen en la figura 11 muestran que el uso del convertidor es la etapa del ciclo de vida que mayor impacto genera en todas las categorías, esto se debe al gran consumo energético que se da en ella, seguida por la etapa de materiales y fabricación. El transporte apenas repercute en las distintas categorías de impacto y el fin de vida tiene una ligera carga negativa en todas las categorías de impacto excepto en ecotoxicidad en aguas dulces.

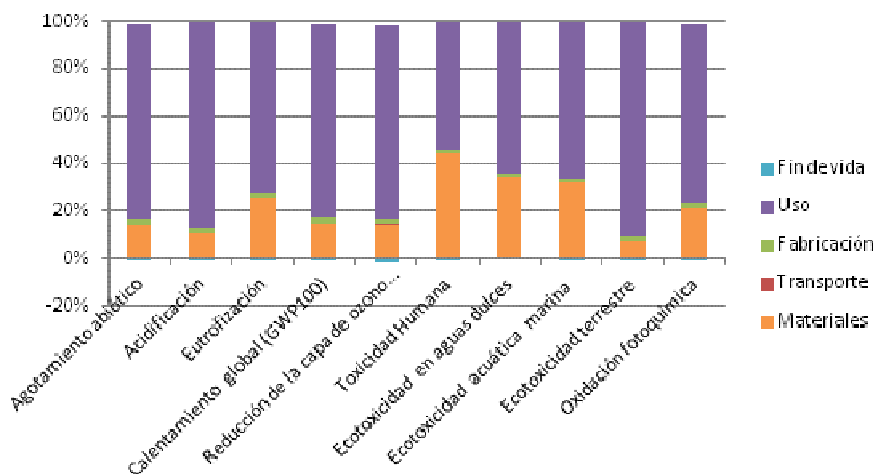


Figura 11. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de 1 convertidor FAGOR. Metodología CML 2 Baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995.

A continuación se analiza la carga ambiental de la etapa de uso, etapa que mayor impacto supone. La categorías toxicidad terrestre es la más afectada con un porcentaje de más de un 90% seguida por la acidificación con casi un 87%, el agotamiento abiótico, la reducción de la capa de ozono y el calentamiento global con alrededor de un 83%, la oxidación fotoquímica con más de 76%, la eutrofización con 72,5%, la ecotoxicidad acuática marina y la ecotoxicidad en aguas dulces con alrededor del 65%. Por último, la toxicidad humana con casi el 54%.

Los resultados obtenidos del análisis nos indican que la etapa de uso es con gran diferencia la etapa que mayor impacto medioambiental genera en el convertidor FAGOR.

En el caso del convertidor CURTIS, la metodología Eco-indicador'99 H/A nos indica que la fase de uso es la que mayor carga ambiental supone en casi todas las categorías de impacto tal como se ve la figura 12.

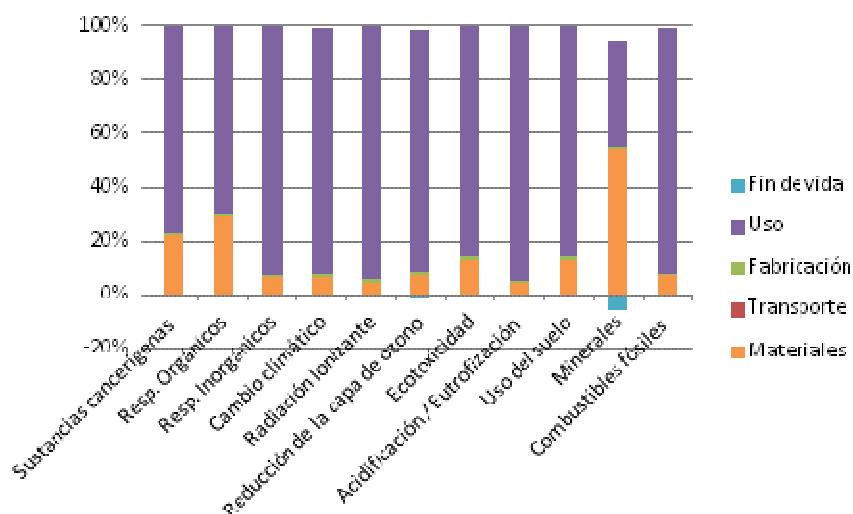


Figura 12. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del 1 convertidor CURTIS. Metodología Eco-indicador'99 H/A

La categoría de impacto más afectada por el consumo eléctrico que se da en la etapa de uso, con un porcentaje del 95%, es la acidificación/eutrofización, seguida muy de cerca por la radiación ionizante, resp. inorgánicos, cambio climático, combustibles fósiles y reducción de la capa de ozono, con porcentajes que afectan en el 93 %. Ahondando en la etapa de materiales, ésta repercute en las categorías de agotamiento de los minerales, 61,7%,

La figura 13 nos muestra que la etapa de uso es de nuevo la que domina .La categoría de agotamiento abiótico junto con el calentamiento global y la reducción de la capa de ozono son las categorías más afectadas con un porcentaje que alcanza un valor mayor del 95%. Seguido de la categoría de acidificación y la toxicidad terrestres con un 93%. Las categorías de eutrofización, la eco toxicidad acuática marina, eco toxicidad en aguas dulces y la oxidación fotoquímica están por encima de 82%. Por último la etapa de uso tiene un impacto del 67% en la categoría de toxicidad humana.

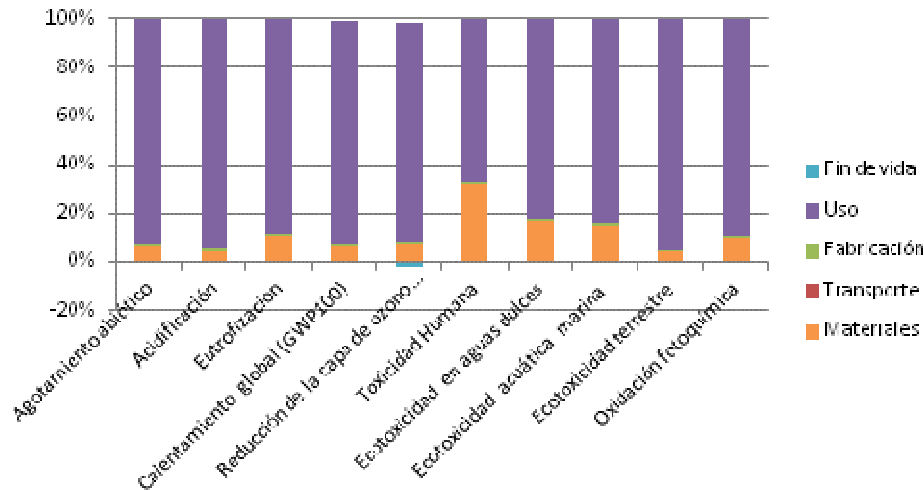


Figura 13. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de 1 convertidor CURTIS. Metodología CML 2 Baseline 2000 V2.05 / West Europe, 1995.

Todos estudios realizados tanto en el modelo FAGOR como en el modelo CURTIS indican que uno de los factores que mayor impacto medioambiental genera es el consumo eléctrico en la etapa de uso. Por ello las acciones de eco innovación deberán de enfocarse en la mejora de la eficiencia y en la reducción de consumo energético.

2.2.3. Propuesta de Ecodiseño

Siguiendo las recomendaciones obtenidas en el apartado anterior, los esfuerzos se dirigirán a la mejora de la eficiencia del convertidor, para así conseguir una reducción de consumo eléctrico en la etapa de uso.

La mejora propuesta en este proyecto nace de la octava estrategia de ecodiseño. Esta mejora se basa la inclusión de la funcionalidad de cargador de baterías en el propio inversor. Utilizando dos de las tres ramas de IGBTs que componen el inversor, se ha diseñado un circuito de adaptación para poder cargar las baterías con este mismo

dispositivo, figura 14. Para tal efecto se ha diseñado una etapa de adaptación, y posteriormente se analizará si el nuevo inversor junto con su nueva funcionalidad ofrece mejoras respecto a los dos dispositivos por separado, inversor y cargador, en términos de reducción de materiales y elementos utilizados en su construcción, eficiencia en su etapa de uso y facilidad de integración en un vehículo eléctrico (volumen y peso).

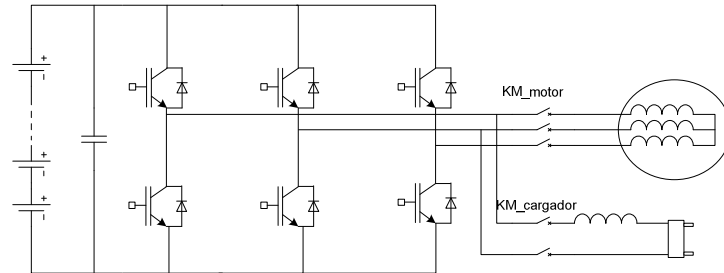


Figura 14. Topología de inversor+cargador utilizando relés y una inductancia

2.3. DE UN PUNTO DE RECARGA

2.3.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

El objetivo de la Fundación CARTIF en esta parte del este estudio ha sido averiguar el perfil ambiental de los puntos de recarga actuales para identificar y proponer alternativas de mejora basadas en estrategias de ecodiseño. En la figura 15 se puede observar una representación de la ubicación de algunos de los elementos sometidos a estudio:

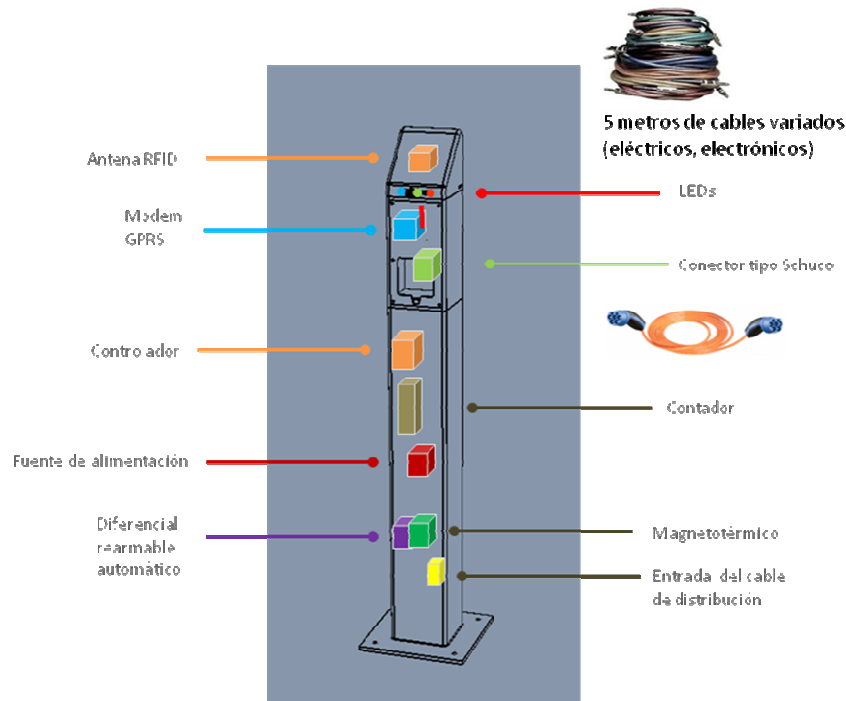


Figura 15. Representación simbólica de los componentes de un punto de recarga.

La función del sistema será recargar vehículos eléctricos 20,4 horas al día durante 10 años (85% del tiempo de funcionamiento en carga, 15% en reposo) y la unidad funcional 1 punto de recarga lenta con una vida útil de 10 años.

El diagrama de flujo del ciclo de vida de las estaciones de recarga se representa en la figura 16. Las etapas agrupadas mediante una llave son las fases de las que el fabricante EMERIX ha proporcionado datos reales para completar el inventario, suministrando también algunas potencias teóricas de la etapa de uso.

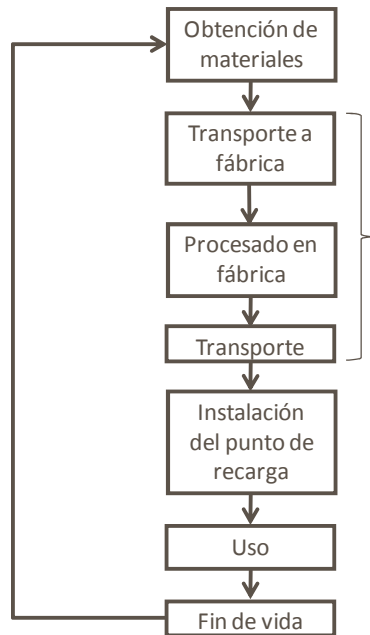


Figura 16. Diagrama de flujo del ciclo de vida de una estación de recarga.

Para realizar el desglose de los componentes en los distintos módulos de los postes se procedió a realizar el despiece de ambas estaciones de recarga y a pesar cada uno de ellos, además de utilizar datos procedentes de fichas del tipo “Environmental Product Profile” donde determinados fabricantes, como Schneider Electric, publican sus datos ambientales. También se supusieron los procesos típicos para su fabricación. Para la etapa de transportes, el lugar desde donde se adquieren las materias primas ha sido facilitado por EMERIX. También, basado en sus mediciones diarias, ha suministrado los inputs para la etapa de fabricación. La etapa de instalación se ha definido a partir de datos de obra civil, el uso se ha estudiado desde dos puntos de vista, teórico y validación experimental y la etapa de fin de vida ha sido construida a partir de consideraciones generales para la gestión de los diferentes tipos de residuos que se generarían, así como el probable destino de los mismos.

Cabe destacar aquí que por decisión de consorcio la etapa de transporte de cada componente desde la fábrica al cliente queda fuera de los límites del sistema así como la etapa de distribución del vehículo eléctrico. Sin embargo, para este componente, el punto de recarga, sí se ha incluido la etapa de montaje, que en el caso del resto de componentes del vehículo eléctrico analizados por las otras entidades beneficiarias no ha sido considerada. Esto es debido a que la etapa de instalación de las estaciones de

recarga tiene suficiente entidad propia como para no ser despreciada (mientras que el montaje de un componente individual en un vehículo no tiene una repercusión significativa en su ciclo de vida). Por otro lado, aunque no se dispone de datos específicos de la etapa de fin de vida, ya que el producto es lo suficientemente nuevo en el mercado como para no haber sido gestionado como residuo, se han utilizado valores de distancia hasta gestores autorizados desde la fábrica (planta de la que se han obtenido los datos de inventario de la etapa de producción) para incluir el transporte de residuos y subproductos, considerando la disposición final contemplada en las bases de datos para los distintos tipos de elementos.

2.3.2. Metodología y resultados

Los resultados que a continuación se van a exponer se han obtenido con la simulación de ambos productos mediante el programa SimaPro® que permite realizar Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a través del uso de bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas.

Las metodologías de cálculo empleadas han sido dos: Eco-indicador'99 H/A y CML 2 Baseline 2000 West Europe 1995.

Los resultados de caracterización son los que se consideran más fiables en un ACV, debido a que el resto de etapas de la evaluación de impacto, opcionales, tienen menor base científica, aunque ofrezcan resultados del indicador con una magnitud relativa más fácilmente entendible. Serán los que aquí se representen.

Estación de recarga tipo pared

La figura 17 recoge los resultados de caracterización correspondiente a la evaluación de impacto mediante la metodología Eco-Indicador'99 H/A, para una estación de recarga tipo pared.

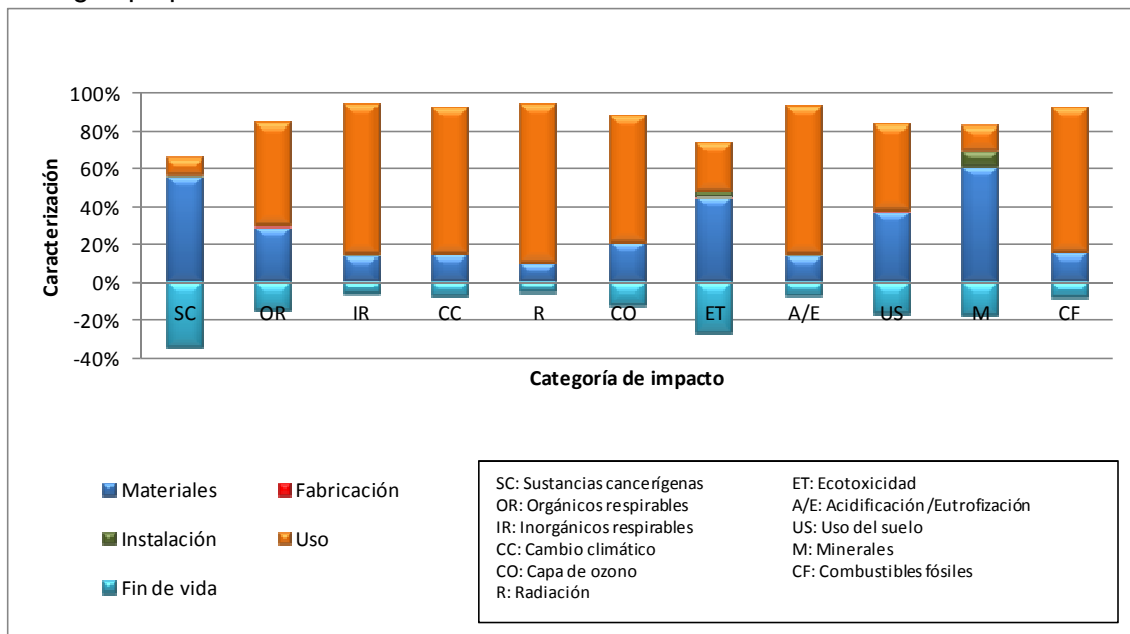


Figura 17. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de una estación de recarga de

pared. Metodología Eco-Indicador'99 (H/A)

La figura 17 muestra que en 3 de las 11 categorías (SC, ET y M) el impacto predominante es debido a los componentes del Módulo Electrónica. Dentro de éstos, destaca la contribución del controlador, de casi el 50% del impacto, seguido por el contador, superior al 30% y la fuente de alimentación (14%), que son los elementos más pesados de este módulo. Por contra, en las categorías OR, IR, CC, CO, R, A/E y CF: las pérdidas del circuito de potencia de la etapa de Uso son las que más contribuyen al impacto en estas categorías. También se puede observar que la etapa de Fabricación no tiene una incidencia significativa al impacto en ninguna de las categorías. Algo parecido ocurre con la etapa de Instalación, que solo tiene una contribución a destacar en la categoría de Minerales.

Los resultados de caracterización correspondientes a la evaluación de impacto mediante la metodología CML 2 Baseline 2000 WE 1995 para este producto se muestran en la figura 18.

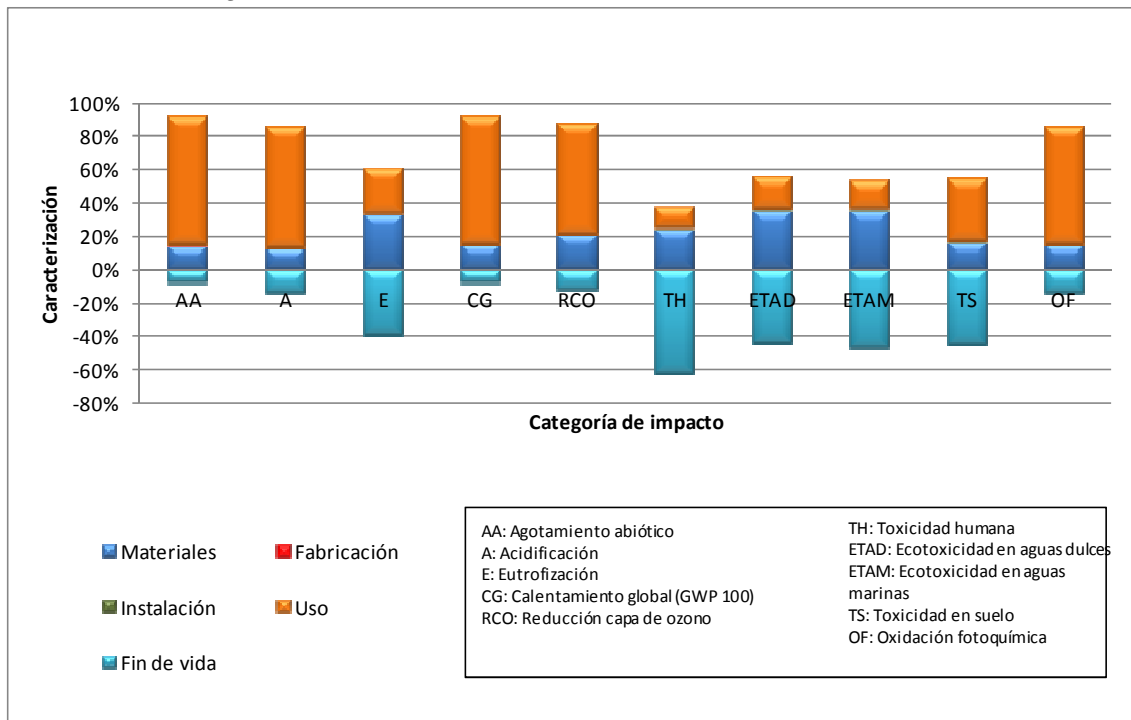


Figura 18. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de una estación de recarga de pared. Metodología CML 2 Baseline 2000 West Europe 1995.

En 5 de las 10 categorías que contempla esta metodología de impacto, la etapa de Uso es la que más impacto ocasiona. La etapa de fin de vida tiene la mayor importancia en las otras 5 (Eutrofización y los 4 tipos de toxicidad).

Hay que destacar que una estación de recarga de pared tiene una huella de carbono de 3.133,67 kg CO₂ eq.

Estación de recarga tipo poste

En la figura 19, se presentan los resultados de caracterización correspondientes a la evaluación de impacto mediante la metodología Eco-Indicador'99 H/A para una estación de recarga tipo poste.

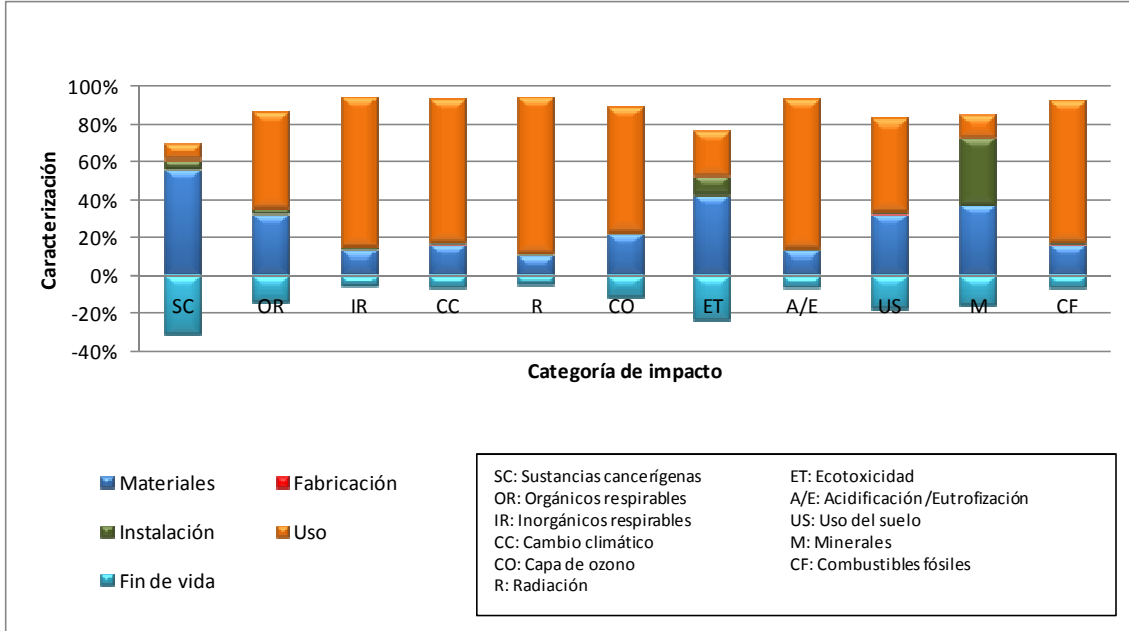


Figura 19. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de una estación de recarga tipo poste. Metodología Eco-Indicador'99 (H/A)

El perfil ambiental de este tipo de estación (figura 19) es muy similar al estudiado anteriormente, si bien el Módulo Estructura adquiere mayor protagonismo, sobre todo en las categorías SC, OR y M, aunque tiene incidencia en las 3 categorías de daño. Otra de las diferencias con la estación de recarga de pared es la aparición de la etapa de Instalación en algunas categorías (Sustancias Cancerígenas y Ecotoxicidad), y su aumento de contribución en Minerales. En las 3 categorías, el cable es el principal responsable del impacto (superior al 96% del total de la etapa).

En la figura 20 se puede observar los resultados de caracterización que corresponden a la evaluación de impacto mediante la metodología CML 2 Baseline 2000 WE.

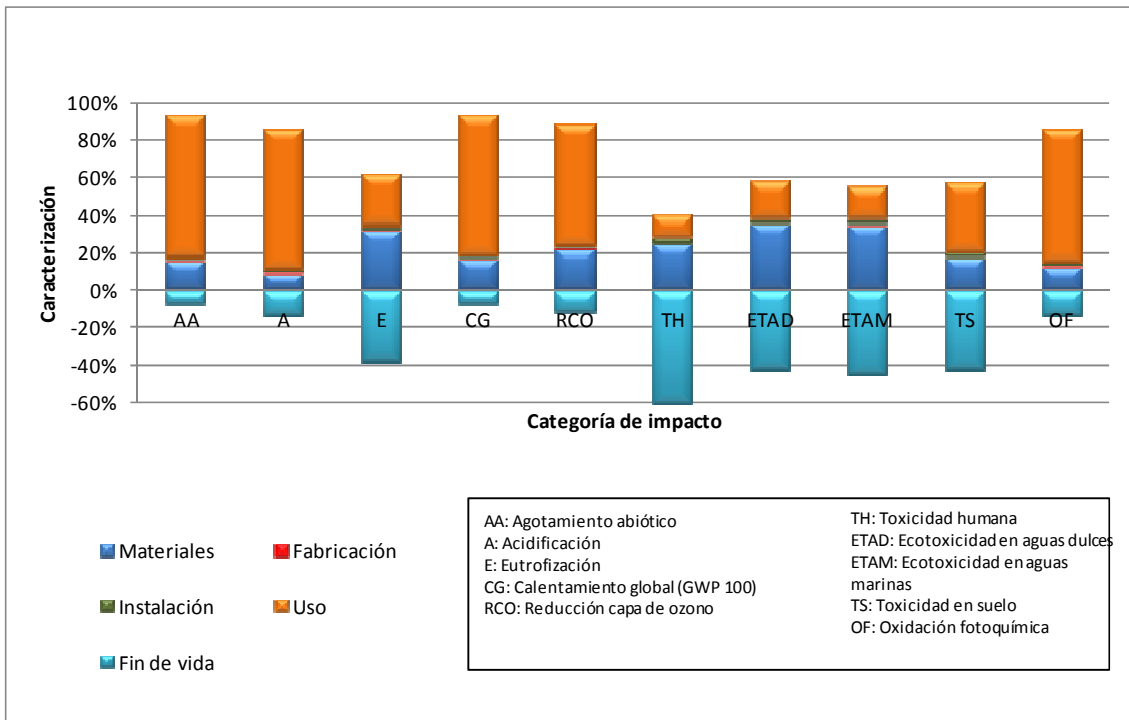


Figura 20. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de una estación de recarga tipo poste. Metodología CML 2 Baseline 2000 West Europe 1995

El perfil ambiental de este tipo de estación de recarga (figura 8) también es completamente similar al analizado anteriormente (figura 6), aunque se ha producido un aumento de impacto en varias categorías.

La etapa de Materiales genera más impacto en 8 de las 10 categorías, a causa fundamentalmente del módulo Estructura, al tener la carcasa de tipo poste mucho mayor peso que la de tipo pared. Los mayores aumentos se ocasionan en Calentamiento Global (16%), Agotamiento Abiótico (12%), Toxicidad en Suelo (10%) y Reducción de la Capa de Ozono (9%). Sin embargo, el impacto en Acidificación y en Oxidación Fotoquímica se ve reducido (un 32% y un 15% respectivamente) debido al mayor impacto en estas categorías del acero galvanizado de la carcasa que emplea el poste frente al acero inoxidable de la estación de recarga tipo pared.

Los cambios más pronunciados respecto a la otra tecnología considerada se deben a la nueva etapa de Instalación. Pero aunque aumenta entre el 400% (categorías Acidificación, Eutrofización, Toxicidad Humana, Ecotoxicidad Aguas Dulces, Ecotoxicidad en Aguas Marinas, Toxicidad en Suelo y Oxidación Fotoquímica), y un 700% Agotamiento Abiótico, 1500% Reducción Capa Ozono, 1900% Calentamiento Global, no tiene una incidencia significativa en el impacto global. También la etapa de Fabricación aumenta su impacto en un 150%, sin que se aprecie su contribución.

La huella de carbono de la estación de recarga de tipo poste es de 3.374,11 kg CO₂ eq.

2.3.3. Propuesta de Ecodiseño

De las ocho estrategias de ecodiseño se detectó que en dos de ellas había posibilidad de actuación:

- La número 2: Reducción de material. Se basa en la idea de reducción tanto de peso como de volumen de producto.

- La número 5: Reducción en la etapa de uso. Se basa en asegurar un bajo consumo energético, utilizando fuentes de energías limpias, reduciendo desechables y aumentando la eficiencia de los productos.

La medida que ha sido seleccionada para implementarla en la fase de prototipado es la de integración de componentes en un formato “todo en uno” que va a sustituir al controlador actual. Esta medida implica la evidente reducción de material de envoltentes (estrategia nº 2) y la reducción de cableado e incluso de conectores, donde se producen pérdidas en la fase de uso (estrategia nº 5). Ambas dos afectarían a la fase de uso, sobre la que los cambios tienen mayor incidencia en el resultado de impacto global, aunque también a la fase de materiales (y por consiguiente a la de fin de vida), que junto con la anterior constituye el principal valor del inventario de datos ambientales conseguido en este estudio.

Debido a que, siendo similares las dos tecnologías estudiadas, el poste es más completo en alguna de sus etapas del ciclo de vida (instalación) y su inventariado contiene menos hipótesis, se decide implementar la eco-innovación teórica sobre este tipo de estación de recarga.

2.4. DEL SISTEMA DE FRENOS

2.4.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

El objetivo principal del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aquí propuesto es servir de apoyo para llevar a cabo la mejora ambiental de la pinza y la pastilla. Para ello el ACV se utiliza como herramienta para evaluar el impacto ambiental asociado a un producto a lo largo de todo su ciclo de vida.

Las etapas consideradas son: la extracción y primera transformación de materias primas; la fabricación de la pinza en la fundición comprendiendo requerimientos de agua y energía y procesos auxiliares (fabricación de moldes y acabado final de la pieza mediante granallado); la fabricación de la pastilla de freno, comprendiendo energía de fabricación, consumo y vertido de aguas así como la gestión de los residuos de proceso; el transporte desde los proveedores de materias primas a las plantas de fabricación, de los subproductos generados y de los residuos de fabricación a los diferentes gestores autorizados; el uso de los componentes en el propio vehículo; y la gestión final de los componentes analizados. Las entradas y salidas relacionadas con la etapa del montaje del VE no se contemplan dentro del presente estudio.

2.4.2. Metodología y resultados

Análogamente al resto de componentes, para el análisis del impacto asociado a la pastilla se han utilizado dos metodologías de evaluación diferentes: CML 2 Baseline 2000 v 2.05 / West Europe 1995 y Eco-indicador 99 (H) V.2.08/ Europe EI 99/HA.

Las figuras que muestran los resultados de la ACV inicial realizado para la pinza y la pastilla se ofrecen a continuación (21 y 22):

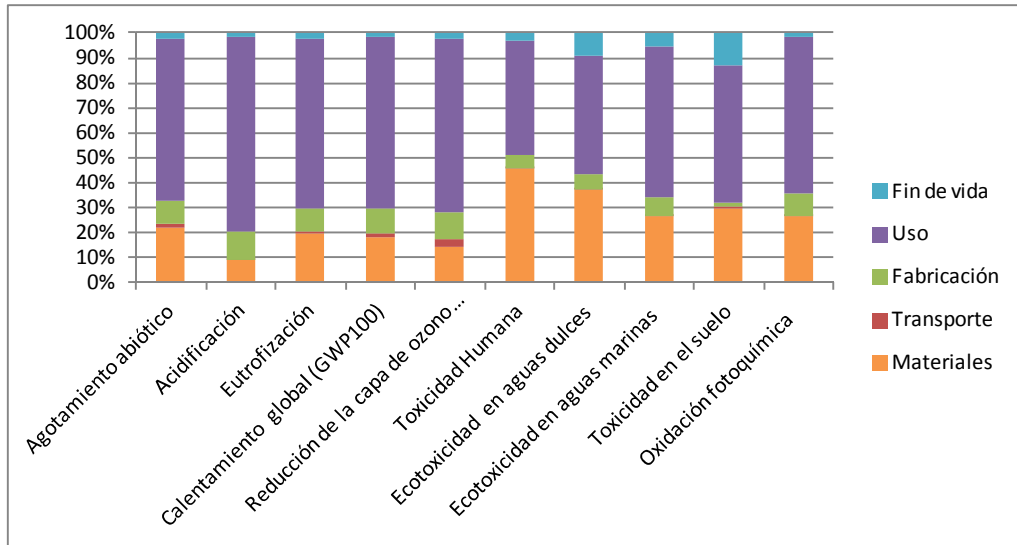


Figura 21. Resultados obtenidos del análisis de impacto por km recorrido (% relativo). Sistema de Frenos (pinza y pastilla). CML 2 Baseline 2000 v 2.05 / West Europe 1995. Caracterización.

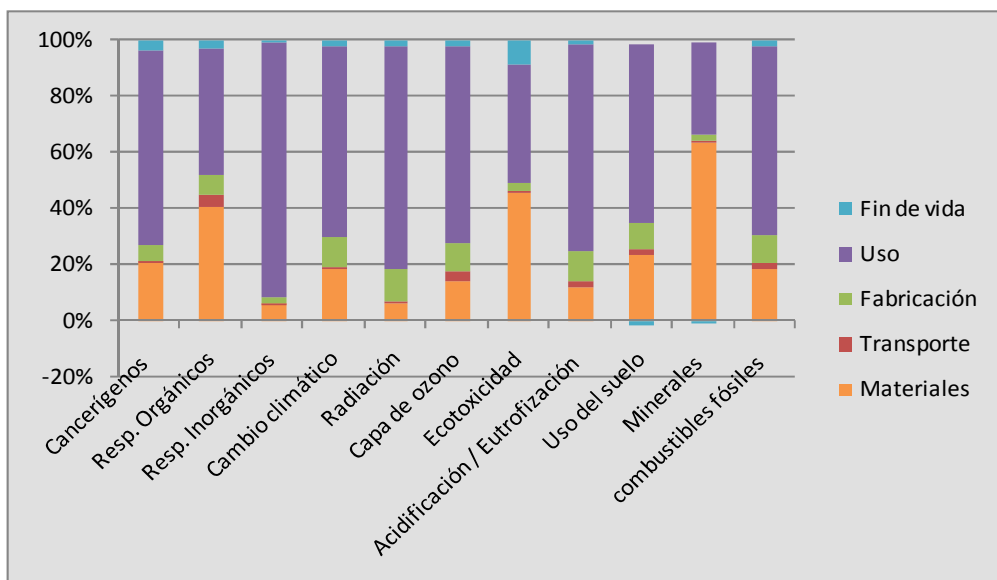


Figura 22. Resultados obtenidos del análisis de impacto por km recorrido. Sistema de Frenos (pinza y pastilla). Eco-indicador 99 (H) V.2.08 / Europe EI 99/HA. Caracterización.

Como conclusión de los resultados obtenidos en el análisis anterior se puede considerar que las etapas con mayor contribución al impacto ambiental son la etapa de

uso y la referida a la extracción y primera transformación de materiales que conforman el sistema de frenos.

Respecto la pinza, el material con mayor contribución es el lingote de fundición nodular. La base metálica para el material de fricción de la pastilla es el componente con mayor impacto ambiental en todas las categorías estudiadas. Por lo que respeta al material de fricción, destaca por su contribución al impacto ambiental el uso del hierro.

La etapa del transporte tiene una contribución poco significativa.

2.4.3. Propuesta de Ecodiseño

Las estrategias de ecodiseño a aplicar para la mejora ambiental del sistema de frenos fueron las siguientes:

- Pinza: la estrategia de mejora consiste en seleccionar materiales que cumplan con las exigencias ambientales actuales pero que sean más ligeros para contribuir a la disminución global de peso y ver si esta selección reduce el impacto ambiental.
- Pastilla: la estrategia de mejora consiste en seleccionar materiales que disminuyan el impacto ambiental sin disminuir las prestaciones de la pastilla actual. Se analiza la incorporación de fibras naturales en el material de fricción (como la fibra de celulosa) y la eliminación de algunos de los metales pesados. De recientes estudios se observa que las fibras naturales no son tóxicas por lo que podrían contribuir a la mejora ambiental de la pastilla siempre y cuando aporten su correcta función.

2.5. DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

2.5.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

El objetivo del trabajo es diseñar un sistema de climatización mejorado medioambientalmente respecto de los actuales. Para ello se analiza el impacto que produce a lo largo del ciclo de vida, (cuyas fases se describen más adelante) el sistema de climatización de un vehículo eléctrico de fabricación seriada mediante metodología ACV. Una vez que se conozca este resultado se aplicarán técnicas de ecodiseño para mejorar dicho sistema de climatización y obtener uno nuevo mejorado medioambientalmente. Para certificar esta mejora se realizará un nuevo ACV del sistema de climatización mejorado y se compararán los resultados de ambos. Esta comparación será posible porque se empleará la misma unidad funcional para ambos ACV.

La unidad funcional se ha definido de la siguiente manera: Capacidad de climatización del sistema, entendiéndose por ésta la adecuación de las condiciones del aire y otros componentes de la cabina del vehículo, a las condiciones de temperatura necesarias para el bienestar de las personas, medida en términos de producción de calor o frío, en el marco de utilización del vehículo eléctrico descrito anteriormente. Para ello se tomará como unidad de medida de calor la referida en el Sistema Internacional de Unidades, que es la misma que la de la energía y la de trabajo: la Kcal.

Los límites del sistema se definen primeramente indicando los componentes del sistema de climatización que formarán parte del estudio. Estos componentes son los que se exponen en el apartado de la descripción del producto, a los que se le sumarán los elementos de unión como; tornillos, tuercas, arandelas, grapas, etc.

Una vez definidos los componentes, el límite del sistema contempla la adquisición de materiales y piezas necesarias para la fabricación de dichos componentes y sus procesos de fabricación asociados. Desde las plantas de fabricación de cada componente se define el transporte de estas piezas, hasta la planta de montaje del sistema de climatización, el consumo energético durante la fase de uso y por último, el transporte de los productos y subproductos generados a los distintos gestores autorizados y su posterior tratamiento.

Es importante remarcar que, se excluyen del ACV la etapa de extracción de materia prima, su primera transformación y el transporte de la misma hasta los fabricantes de los componentes identificados. Se excluyen también los transportes entre las fases de montaje y utilización y entre la de utilización y la de descarte. Dichas decisiones han sido consensuadas con el resto de integrantes del consorcio que desarrolla este proyecto.

2.5.2. Metodología y resultados

Las metodologías utilizadas en este análisis han sido, CML 2001 Dec 07 Experts IKP / Southern y Eco-indicador 99.

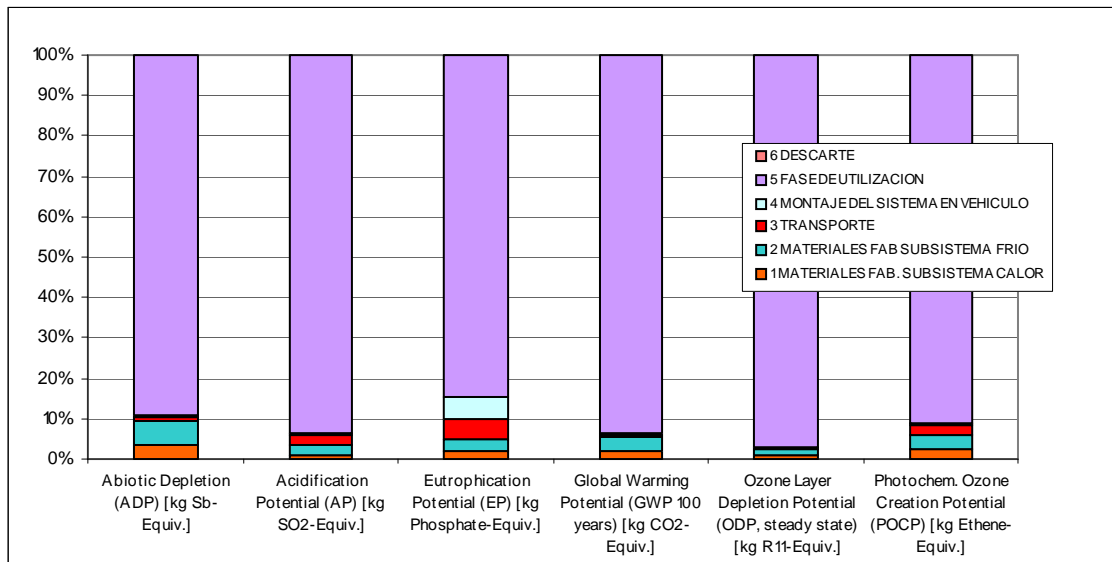


Figura 23. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización, por fases apiladas, metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe,

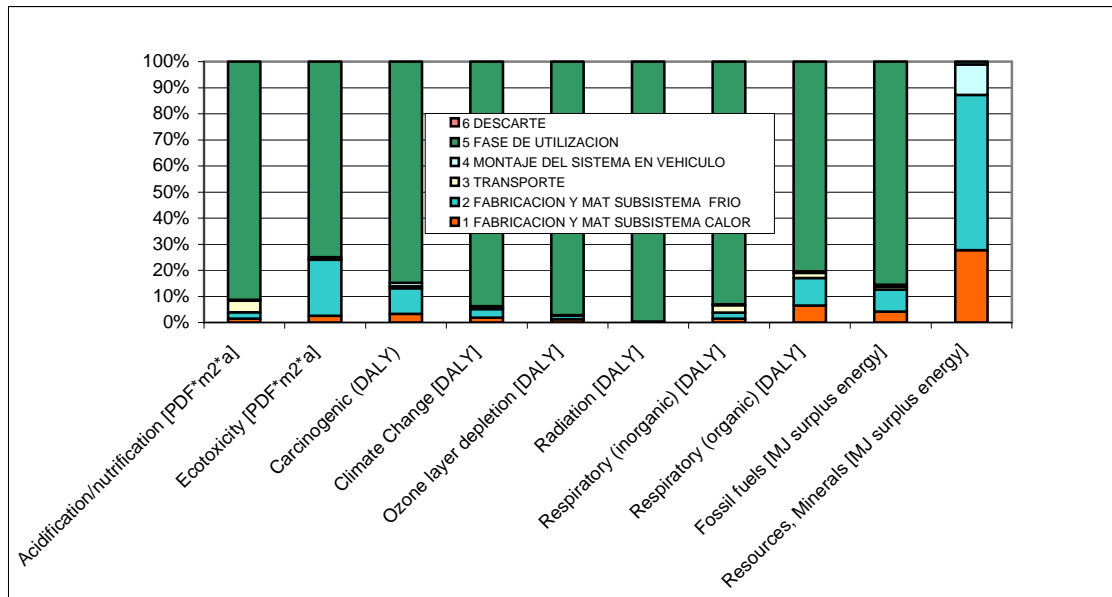


Figura 24. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización. Fases apiladas. Metodología Eco-indicador 99 H/A.

La conclusión más importante en la que las dos metodologías coinciden es que el impacto ambiental producido por la cantidad de energía eléctrica consumida durante la fase de utilización es mucho mayor (alrededor de un orden de magnitud) que el resto de los impactos de las etapas del ciclo de vida del sistema de climatización (figuras 23 y 24).

Este hecho, hace que los impactos de las otras etapas sean mínimos comparados con esta. Evidentemente se deben buscarse soluciones que disminuyan el consumo de energía manteniendo la capacidad de generar confort para el usuario del vehículo, y aumentar el rendimiento del sistema. Cualquier mejora en esta etapa supondrá grandes mejoras ambientales en comparación con mejoras en las demás etapas del ciclo de vida.

En lo que respecta a los materiales y fabricación de componentes, las líneas de actuación son diversas, como se indicó en la exposición de los resultados con la metodología CML 2001, el subsistema de generación de frío es el que mayor impacto provoca, y dentro del éste los componentes de conjunto de cabina y del compresor. Una pequeña mejora en ellos afectará significativamente al impacto global del sistema de climatización.

Las etapas de montaje y el transporte, aunque repercuten, lo hacen en menor manera pero no por ello hay que olvidarse de las mismas. Las mejoras en esta etapa pueden conseguirse mediante gestión de proveedores y cadena de suministro, y no necesitan en principio de rediseños del sistema o de materiales, aunque una reducción de peso afectaría sensiblemente.

En cuanto a las categorías de impacto el sistema de climatización hay tres que destacan, el consumo de los recursos combustibles fósiles, la categoría de cambio

climático, la respiración de elementos inorgánicos, y el calentamiento global (según CML 2001). Todas ellas tienen un denominador u origen común, el consumo de energía eléctrica por parte del sistema de climatización. Por lo que se retorna a la misma conclusión que se expresaba cuando se exponían los impactos desde el punto de vista de las etapas de ciclo de vida, el factor más determinante es el consumo eléctrico.

2.5.3. Propuesta de Ecodiseño

Los componentes del sistema de climatización mejorado son los mismos que el de partida excepto los siguientes:

- El conjunto de cabina
- La unidad PTC
- Asientos calefactados

El conjunto de cabina

Este componente provoca tan alto impacto debido a la cantidad de polipropileno que lleva y a la baja tasa de plástico secundario que se utiliza para su elaboración. El sector de la automoción reconoce que tan sólo utiliza entre un 15 y unos 20 % de termoplástico secundarios. Se puede analizar un cambio de material y prever el impacto que pueda tener. La carcasa de este componente es de material plástico (polipropileno) debido a su complejidad geométrica se fabrica por moldeo, no tiene requerimientos especiales de carga ni está sometida a condiciones exigentes o desfavorables. Es un buen aislante. Se fabrica por moldeo en inyección de plástico lo que provoca un alto grado de producción, es decir muy bajo coste.

Un tipo de material de bajo impacto ambiental que pueda fabricarse por moldeo al igual que el plástico, adecuándose a formas geométricas más o menos complejas, con propiedades de aislante térmico son los materiales cerámicos. De hecho en el sector de la automoción ya se utiliza este material (luego se fabrica en cantidades que el sector necesita). La cerámica ha sido importante en los automóviles desde el principio, en los aisladores de la bujía, ventanas, sensores, frenos. Nissan introdujo la cerámica de nitruro de silicio en turbocompresores en 1985.

Este material tiene la desventaja de poseer una mayor densidad (entre 2 y 3 veces más que el polipropileno). Es un material nada elástico, no puede amoldarse a las formas del motor, rígido y soporta impactos moderados. No puede usarse como material portante, o sometido a cargas de fatiga o vibraciones.

Asientos calefactados

Aunque en la actualidad se utilizan como apoyo al sistema de climatización de calor convencional en climas fríos, en este caso se han buscado como solución al exceso de consumo de energía eléctrica del sistema. El uso de este sistema permitirá dimensionar el subsistema de generación de calor, el subsistema de calor mejorado consumirá el 50% del de partida.

Los fabricantes de calefactores, como por ejemplo Amerigon, aseguran mediante investigaciones desarrolladas por ellos que con la instalación de estos sistemas el consumo energético de la unidad PTC disminuye en más del 60%. Lo que se

desconoce es si el impacto ambiental que se genera en otras etapas, como en la de transporte, ya que el conjunto de cabina mejorado pesará mucho más pesado, anula los impactos absorbidos en la etapa de uso debidos al menor consumo energético, es decir, la clave reside en calcular si los impactos absorbidos en la etapa de uso podrán ser anulados en las demás etapas como en el transporte o en la de materiales, por el hecho de añadir el nuevo componente.

Unidad PTC Nueva

Con un consumo menor, los elementos PTC deben tener menor peso. En este caso se ha estimado que para un consumo del 50% comparado con la unidad PTC del sistema preliminar, el peso del Titanato de Bario deberá también reducirse al 50%, es decir unos 1000 gr. Todos los demás componentes se modelan igual que en el sistema preliminar.

2.6. DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

2.6.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas.

En este estudio, tres son las tecnologías fotovoltaicas de interés:

- Paneles de silicio monocristalino fabricados en Estados Unidos.
- Paneles de capa fina CIS (Cobre – Indio – Selenio) fabricados en Alemania.
- Paneles de silicio amorfo fabricados en Europa.

La elección de la tecnología se basa en la disponibilidad actual de las mismas en el mercado. Los países de fabricación han sido elegidos en función de los datos Ecoinvent disponibles. De acuerdo con el origen de los diferentes participantes en el proyecto Green-Car Eco-design, se ha decidido llevar a cabo el estudio apoyándose en tres redes de producción de electricidad diferentes, a saber, las redes francesa, española y portuguesa.

2.6.2. Metodología y resultados

El presente estudio está basado esencialmente en comparaciones, bien entre tecnologías fotovoltaicas, bien entre la cantidad de electricidad proveniente de diferentes redes eléctricas nacionales, o bien entre la electricidad proveniente de un panel fotovoltaico y la proveniente de una red nacional.

Con el fin de que cada una de las comparaciones efectuadas sea coherente, resulta necesario recurrir a una unidad funcional. En este estudio, se han utilizado dos tipos de unidades funcionales. Por un lado, la comparación puede basarse en una superficie idéntica de paneles fotovoltaicos. En ese caso, el interés reside en comparar el impacto de diferentes tecnologías en función de una superficie fija, que será determinada por la superficie del techo del vehículo eléctrico (VE). Por otra parte, las tecnologías no presentan el mismo rendimiento, no son capaces de suministrar la misma cantidad de electricidad para una misma superficie dada. Así, cuando la comparación debe hacerse con una cantidad de energía tomada de la red, se

considera la superficie de paneles PV que es capaz de producir la misma cantidad de energía.

Tecnologías fotovoltaicas

En un primer momento se ha deseado comparar estas tecnologías según el enfoque ciclo de vida, sobre la base de una unidad de referencia de 1 m² de paneles fotovoltaicos. Esta superficie se corresponde con la superficie media instalable en un vehículo.

Se constata que el panel de Silicio amorfo (Si-a) es aquel que de forma global presenta el impacto menor. El siguiente es el panel Cf-CIS, cuyo impacto puede ser considerado similar al del panel de Silicio monocristalino (Si-m) en las categorías de impacto en cuanto a Disminución de recursos, Eutrofización, Ecotoxicología de aguas dulce y marina.

Así, en el caso de desear reducir al máximo el impacto medioambiental ligado a un panel fotovoltaico (PV) de 1 m² instalado en el techo de un vehículo, es preferible inclinarse por un panel de tipo Si-a. No obstante, este panel presenta un rendimiento (transformación de radiación solar en electricidad) inferior a aquél del resto de tecnologías. A partir del momento en que se tiene en cuenta el rendimiento de cada tecnología, las conclusiones cambian. En efecto, para el mismo servicio prestado, los paneles Si-a y Cf-CIS tienen un impacto global cercano al del panel Si-m. Únicamente presentan una verdadera ventaja medioambiental en cuanto al impacto sobre la capa de ozono. El panel Si-a, por otra parte, tiene mayor impacto sobre la toxicidad humana que el resto de tecnologías.

A partir de esta primera parte del estudio, es posible afirmar que ninguna tecnología destaca por ofrecer un impacto ambiental verdaderamente reducido. A pesar de que para la misma superficie las tecnologías Cf-CIS y Si-a presentan menor impacto, su bajo rendimiento obliga a instalar mayores superficies para producir la misma cantidad de electricidad que el panel de Silicio monocristalino.

Importancia del lugar de fabricación

Está demostrado que la fase de fabricación de los paneles es la más contaminante de su ciclo de vida. Además, esta fase de fabricación necesita grandes cantidades de electricidad. Así, en función del país de producción y del mix eléctrico particular de cada uno de ellos, el impacto puede variar.

El estudio pone en evidencia la variabilidad de los resultados según el país donde se fabrique el panel fotovoltaico. Así, la elección del lugar de origen del panel solar resulta determinante a la hora de evaluar su idoneidad medioambiental.

Comparación de los mix eléctricos nacionales

Una rápida comparación de los diferentes mix eléctricos permite, ver que la electricidad fotovoltaica será mucho más importante en España o en Portugal que en Francia. Aunque la fabricación de paneles fotovoltaicos resulta contaminante, la electricidad que producirán reducirá el consumo de una parte de la electricidad de la

red. Por ello, cuanto mayor impacto genere la electricidad de la red, más pertinente será la generación fotovoltaica desde el punto de vista medioambiental.

3. VERIFICANDO LAS VENTAJAS MEDIOAMBIENTALES. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE CADA COMPONENTE ECODISEÑADO.

3.1. EN LA BATERÍA

3.1.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

La intención de la solución de eco-innovación que IPS propone es reducir los impactos ambientales en los siguientes puntos:

1. Reducción de material. Se basa en la idea de reducción de peso de la batería para la mitad, esperando reducir el impacto de la categoría “Materiales”, a pesar de unirse un nuevo equipamiento, que es el extensor de autonomía.
2. Reducción en la etapa de uso: como el VE normalmente hace viajes cortos, una batería más pequeña será suficiente y tendrá un menor consumo de energía durante el uso, debido al menor peso transportado.
3. Desarrollo de nuevos conceptos. Se trata de un nuevo concepto de VE en el que la energía eléctrica no está toda inicialmente en la batería, pero ésta puede ser cargada si fuera necesario para un viaje más largo.

El nuevo ACV realizado, a modo de comparación, consideró dos equipamientos: la batería y el extensor de autonomía. Se consideraron las mismas cinco etapas principales que en el estudio del ciclo de vida de los equipamientos: materiales; fabricación; transporte; utilización y fin de vida.

3.1.2. Metodología y resultados

Se realizó una comparación de resultados de ACV entre el VE con una de batería de litio de 200 kg y el VE con una batería de litio de 100 kg y un extensor de autonomía, se muestra en la figura 25.

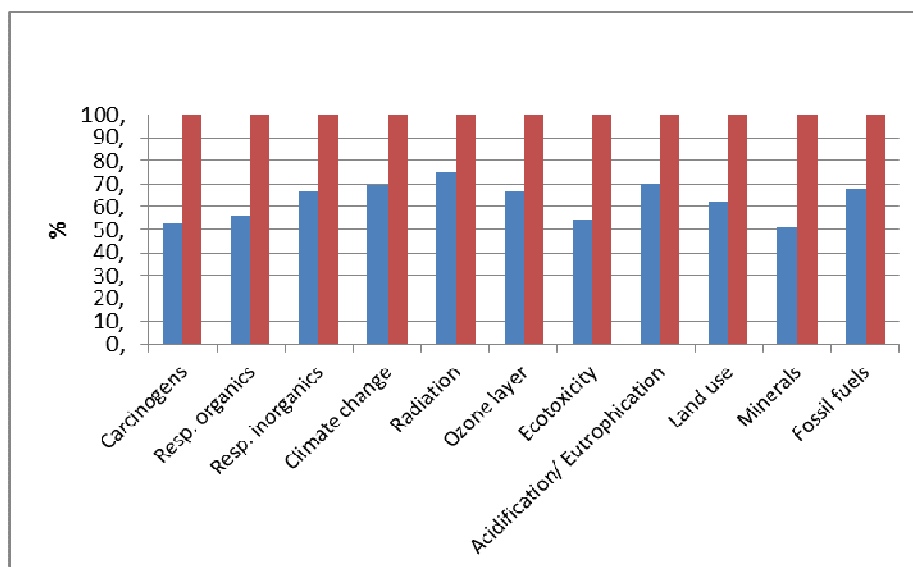


Figura 25. Comparación entre el VE con una de batería de litio (rojo) y el VE con media batería de litio y uno extensor de autonomía (azul). Metodología Eco-indicador 99 H/A

La comparación de los resultados (figura 25) muestra que los impactos ambientales son menores cuando la batería de 200 kg se sustituye por una batería más pequeña y el extensor de autonomía.

Por lo tanto, dentro de las condiciones ensayadas, los resultados son significativamente favorables a la innovación propuesta. Sin embargo, los beneficios ambientales dependen del uso que se hace del extensor. Ésta puede ser una solución de ecodiseño más interesante, validar esta propuesta desde el punto de vista funcional y los límites de uso que siguen como la mejor solución ambiental.

3.2. EN EL CONVERTIDOR

Las mejoras propuestas se centran en la investigación y desarrollo de nuevas tipologías para la mejora de la eficiencia del convertidor. Para poder valorar la mejora medioambiental en primer lugar se deben de definir estas tipologías mediante simulaciones y prototipos. En la siguiente tarea se seleccionara la tipología mas adecuada y se realizaran simulaciones para la verificación del correcto funcionamiento del nuevo producto diseñado. Posteriormente, se construirá un prototipo funcional, en donde se analizará el impacto medioambiental principalmente del consumo energético durante la fase de uso.

3.3. EN UN PUNTO DE RECARGA

3.3.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

Una vez realizado el análisis ambiental de cada componente de partida se ha definido una propuesta de mejora ambiental para los componentes estudiados que ha sido evaluada nuevamente de forma teórica para valorar su viabilidad técnica, económica y ambiental.

En este caso, se ha realizado un cambio en el controlador del poste. Para esta nueva evaluación se realizó un nuevo Inventario de Ciclo de Vida. A partir de la composición de los elementos originales, se ha supuesto tanto la proporción de materias primas (y sus procesos de fabricación asociados) como de los esfuerzos de producción de pequeña electrónica. Las modificaciones en la etapa de obtención de materiales afectan también a la de fin de vida. En cuanto a la etapa de uso se ha considerado una teórica reducción del 70% del excedente de potencia (ya que más de un 50% del mismo había sido asignado al controlador y casi un 20% a los relés de conexión del enchufe). Esto se debe, entre otras cosas, a que los cables de control se ven reducidos a consecuencia de este cambio, y en el módulo Auxiliares se eliminan los conectores, estimando que las pérdidas energéticas serán considerablemente menores en la nueva situación.

3.3.2. Metodología y resultados

Para analizar qué impacto produce la medida de ecodiseño seleccionada anteriormente en las variables ambientales, se ha realizado el eco-rediseño del componente y la simulación virtual del mismo a través del programa informático SimaPro®.

Los resultados de caracterización correspondientes a la evaluación de impacto mediante la metodología Eco-Indicador'99 H/A y CML 2 Baseline 2000 WE para una estación de recarga tipo poste eco-innovada se presentan en las figuras 26 y 27 respectivamente.

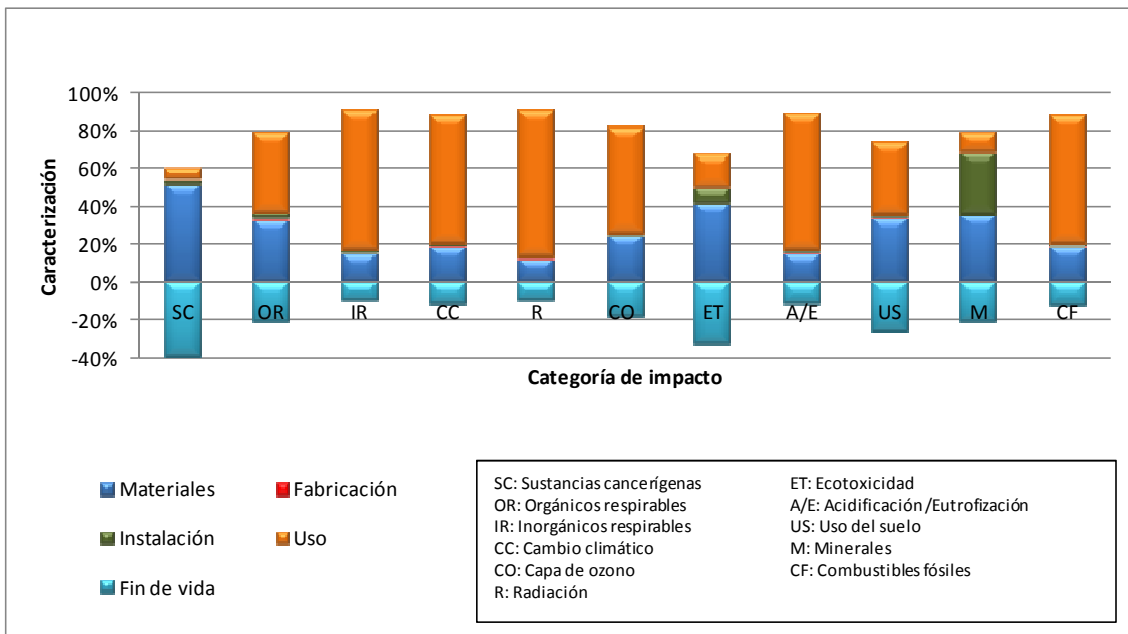


Figura 26. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de 1 estación de recarga tipo poste eco-innovada. Metodología Eco-Indicador'99 (H/A)

Si comparamos la figura 26 con la figura 19 correspondiente al poste sin eco-innovar, observamos un perfil similar pero se producen ciertas variaciones que merece la pena destacar. La Evaluación de Daños de estos resultados destaca que 3 categorías aglutinan el 99% del daño en Salud Humana: Sustancias Cancerígenas (40%), Inorgánicos Respirables (48%) y Cambio Climático (11%). También contribuye sensiblemente menos al daño en Calidad del Ecosistema el impacto en Uso del Suelo, frente a las otras dos categorías: Acidificación/Eutrofización (38%) y Ecotoxicidad (48%). Por su parte, los Minerales suponen el 96% del daño a los Recursos.

La figura 27 muestra los resultados de caracterización que corresponden a la evaluación de impacto mediante la metodología CML 2 Baseline 2000 WE 1995 para la estación de recarga tipo poste eco-innovada.

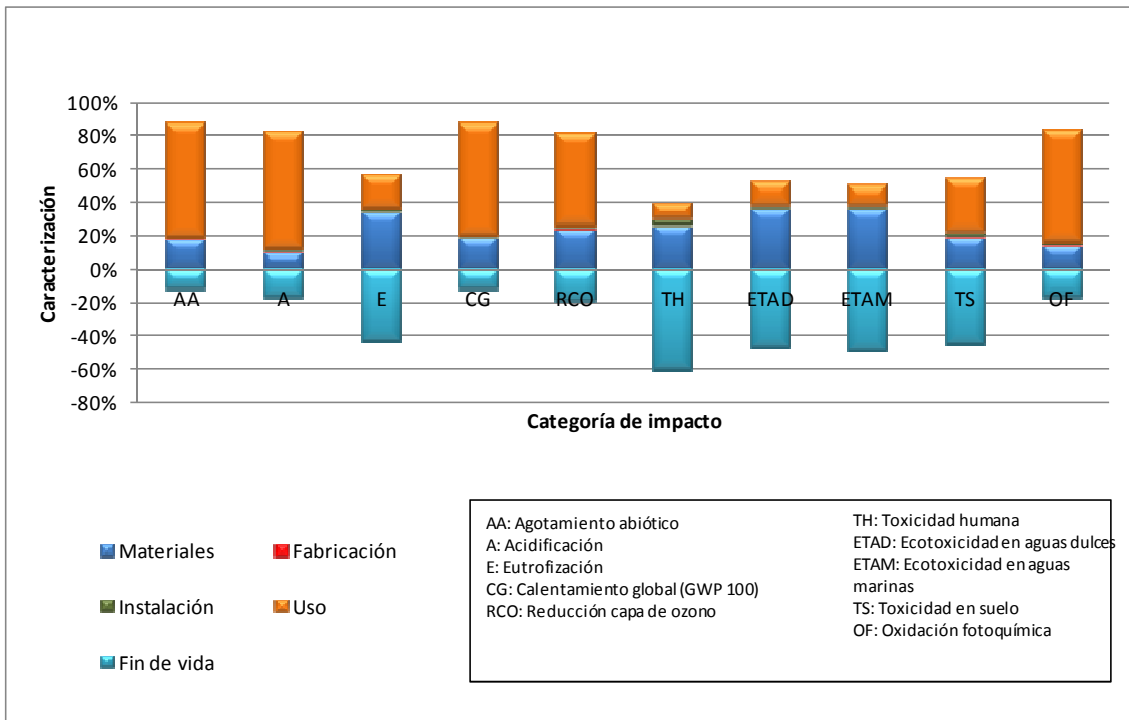


Figura 27. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida de 1 estación de recarga tipo poste eco-innovada. Metodología CML 2 Baseline 2000 West Europe 1995

El resultado de la evaluación con esta metodología es que, fruto de la eco-innovación, las 10 categorías ven reducido su impacto. Desde un 6,4 y un 8,7% de las categorías Agotamiento Abiótico, Acidificación, Calentamiento Global y Oxidación Fotoquímica hasta el 74% de la Ecotoxicidad en Aguas Marinas, pasando por un 24% la categoría Toxicidad Humana, un 30% de las categorías Eutrofización y Toxicidad en Suelo y un 47% de la Ecotoxicidad en Aguas Dulces.

La huella de carbono del poste eco-innovado es de 3.148,13 kg CO₂ eq. Ha disminuido un 6,7% incorporando la eco-innovación teórica aquí propuesta.

3.4. EN EL SISTEMA DE FRENOS

3.4.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

Como se ha comentado anteriormente, el análisis del ciclo de vida para la pinza y la pastilla muestra que las etapas con mayor contribución al impacto ambiental son la fase de uso y la de extracción y primera transformación de materiales. En relación a la contribución al impacto de ambas fases se considera necesario llevar a cabo mejoras eco-innovadoras relacionadas con el uso de materiales menos nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

En esta etapa se realizó una comparativa entre el ACV inicial y el ACV de mejora ambiental propuesta para ambas componentes. Las metodologías utilizadas para

realizar el ACV de las mejoras propuestas tanto en la pinza como la pastilla han sido las mismas que en el análisis del ciclo de vida inicial.

3.4.2. Metodología y resultados

Pinza: sustitución del material de fundición nodular por aluminio

La sustitución de hierro nodular por un material más ligero como es el aluminio puede comportar un beneficio ambiental neto, ya no sólo como producto evitado en la extracción y primera transformación de los materiales necesarios, sino también gracias a la disminución de los requerimientos energéticos en la etapa de uso. Tras evaluar desde una perspectiva de ciclo de vida la sustitución del material de fundición nodular por aluminio se pudo constatar que en contra de lo que en un primer momento cabía esperar, dicha sustitución conllevaba un empeoramiento del perfil ambiental del sistema de frenos en todas las categorías analizadas e independientemente del método empleado. Ello era debido fundamentalmente al mayor impacto asociado en la etapa de procesado del aluminio, sujeta a grandes requerimientos energéticos.

De todos modos, se indagó sobre la posibilidad de que una vez el vehículo se pusiera en el mercado y debido al propio uso del vehículo, esta situación pudiera revertirse. Se sabe que el uso de una pinza de aluminio, más ligera que la correspondiente de fundición, conllevaría un menor consumo energético en la etapa de uso. En este sentido y mediante una aproximación lineal (figura 28) se asumió que la reducción de la energía necesaria en la etapa de uso era proporcional a la reducción en peso descrita. Con ello la energía pasaba de $2.29E-03$ kWh/km a un valor de $1.78E-03$ kWh/km.

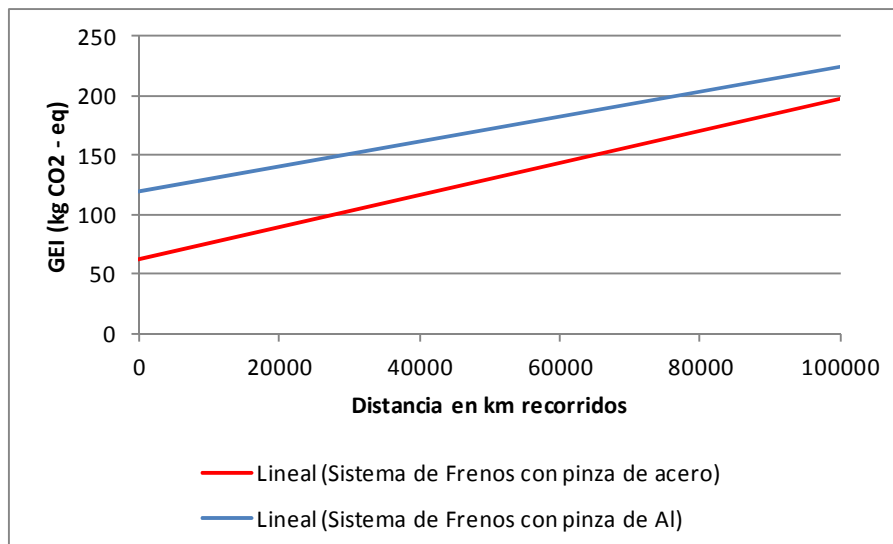


Figura 28. Proyección de las emisiones de GEI en función de los km recorridos para el sistema de frenos inicial y el ecodiseñado.

Tal como se observa en la figura 28 las emisiones de GEI (Gases efecto invernadero) asociadas son siempre mayores en el caso de que se cambie el material de la pinza por aluminio a lo largo de la vida útil del sistema de frenos. Sólo a partir de los 188.957

km recorridos pasaría a ser más favorable. Ello indica que si se pudiera aumentar la vida útil del vehículo por encima de esta cantidad el sistema de frenos con la medida planteada sería más beneficioso.

Pastilla: Incorporación de fibras naturales en el material de fricción de la pastilla y eliminación de algunos metales pesados

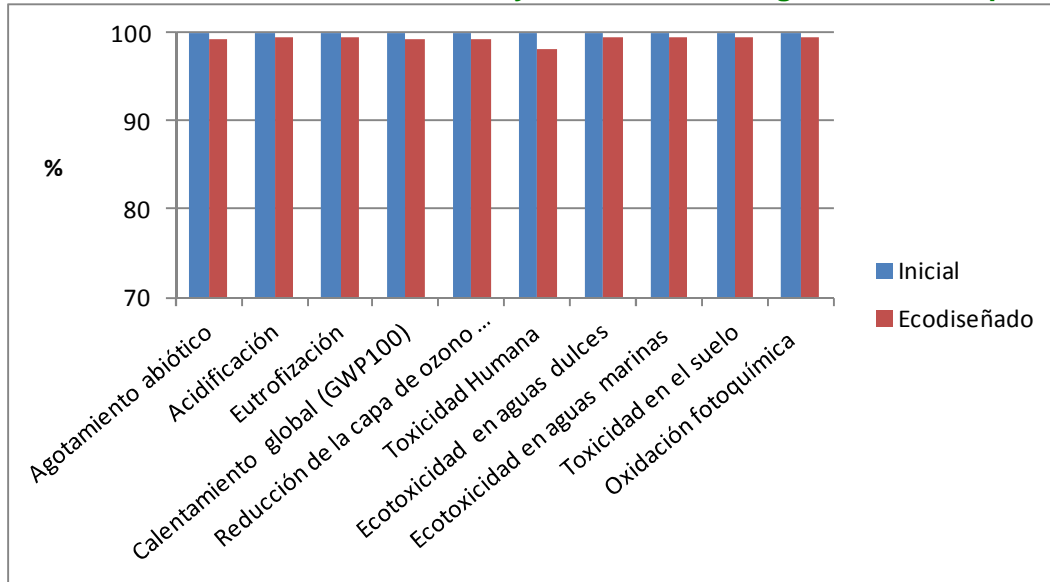


Figura 29. Resultados obtenidos del análisis de impacto por km recorrido. Sistema de frenos (pinza y pastilla) inicial vs ecodiseñado. CML 2 Baseline 2000 v 2.05 / West Europe 1995. Caracterización

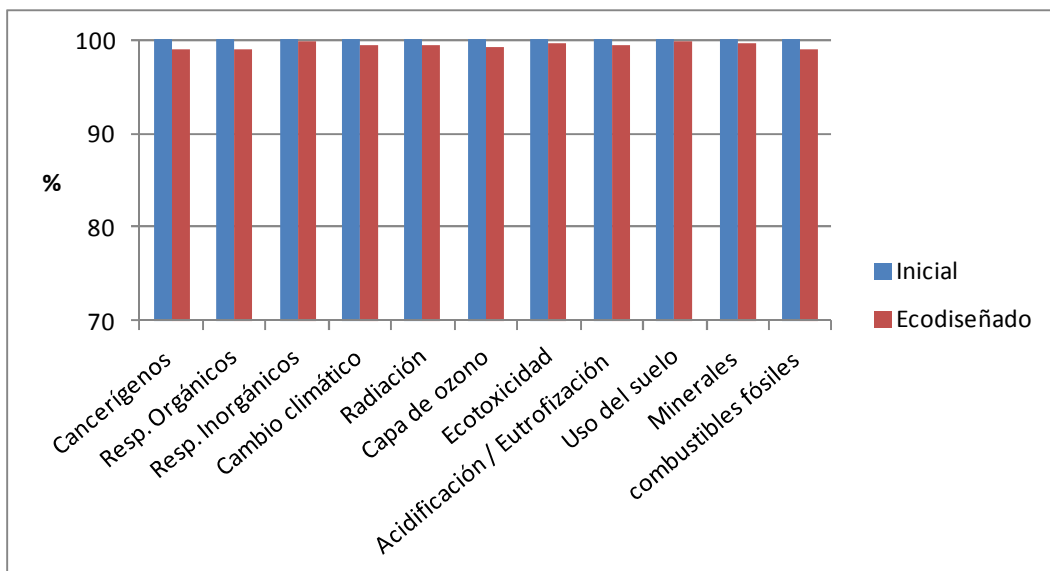


Figura 30. Resultados obtenidos del análisis de impacto por km recorrido. Sistema de frenos (pinza y pastilla) inicial vs Ecodiseñado. Eco-indicador 99 (H) V.2.08 / Europe EI 99/HA. Caracterización.

Tal y como se desprende de los resultados alcanzados (figuras 29 y 30), la medida de ecodiseño planteada no conduce en ningún caso a reducciones del impacto más allá de un 2%. Esta reducción en el impacto viene derivada, tal y como se ha comentado

con anterioridad, por la utilización de fibra naturales. Desde un punto de vista ambiental, las fibras naturales no son tóxicas y presentan una capacidad de procesamiento mucho mejor que otros materiales. Tal como se observa para el caso del método CML, la reducción más significativa se da justamente en la categoría de toxicidad humana.

También mencionar que la reducción en peso de la pastilla produce un efecto beneficioso a lo largo del ciclo de vida del sistema de frenos, reduciéndose los materiales necesarios para su procesamiento en la etapa de extracción y primera manufactura, una disminución de la carga transportada por trayecto en las distintas etapas de transporte, una disminución de los requerimientos energéticos en la etapa de uso y finalmente una menor generación de residuos en la etapa de fin de vida.

Finalmente, cabe destacar que en términos de GEI y de acuerdo a los resultados obtenidos mediante el método CML (caracterización) la reducción de emisiones es de $7.04E-04$ kg eq-CO₂/km recorrido. Si se tiene en cuenta la vida útil del vehículo y la previsión de penetración en el mercado europeo de vehículos eléctricos cifrada en 480.000 vehículos para el año 2015 (IEA, 2009) la utilización del sistema de frenos ecodiseñado podría suponer una reducción de 34 mil Ton eq. de CO₂.

Con todo, se puede concluir que efectivamente la medida de ecodiseño planteada conduce a una reducción del impacto ambiental de la pinza y las pastillas en las etapas del ciclo de vida.

3.5. EN EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

3.5.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

El objetivo principal es conocer el impacto ambiental del nuevo sistema de climatización a lo largo de su ciclo de vida, para más tarde, definir mejoras ambientales. De este modo se pretende minimizar el impacto ambiental. Las mejoras ambientales deben ir enfocadas a la reducción del impacto generado por la fase de uso. Principalmente el consumo de energía eléctrica, y la eco-mejora de uno de los dos componentes que más carga generan, en este caso el conjunto de cabina.

La función principal de este sistema es igual que el de partida pero deberá tener un menor consumo energético en su fase de utilización y un menor impacto en las categoría mas afectadas por el sistema de partida, el consumo de los recursos combustibles fósiles, la categoría de cambio climático, la respiración de elementos inorgánicos, y el calentamiento global (según CML 2001).

3.5.2. Metodología y resultados

Las metodologías utilizadas en este análisis han sido, CML 2001 Dec 07 Experts IKP / Southern y Eco-indicador 99, sus resultados se muestran en las figuras 31 y 32.

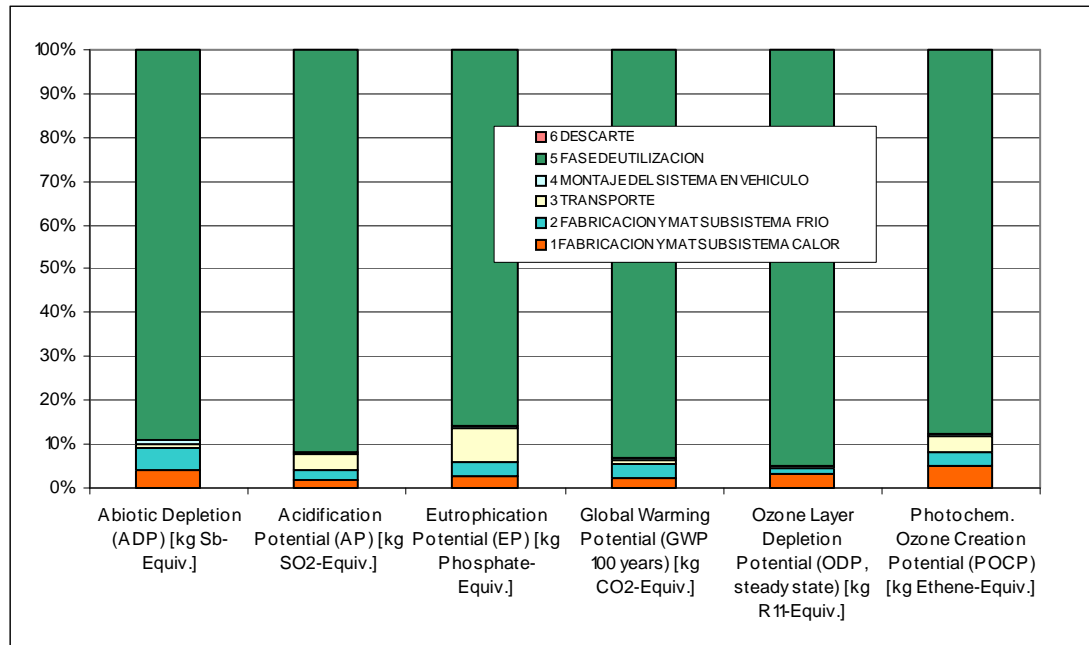


Figura 31. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización, por fases apiladas, metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe

Tanto con la metodología CML 2001, como con EI99 HA, las mejoras del sistema nuevo respecto del inicial son evidentes. Las dos medidas que se propusieron como mejoras en el nuevo sistema:

- La sustitución del material termoplástico (polipropileno) del componente “Conjunto de Cabina” por material de cerámica blanca sanitaria.
- La introducción de asientos calefactados, y disminución del consumo de la unidad PTC del subsistema de calor.

Ambas medidas han resultado ser, en el cómputo global del Ciclo de Vida del sistema de climatización de un vehículo eléctrico, medio ambientalmente beneficiosas, reduciendo los impactos de todas las categorías asociados a las distintas fases, excepto en la fase de transporte de componentes, pero compensando en el total de Ciclo de Vida del sistema estudiado.

Respecto de las categorías de impacto, en ambas metodologías (CML 2001, y EI99 HA) también se reducen los impactos en todas las categorías. Para Eco-indicador 99 los impactos se reducen entorno al 17 %, y para CML 2001 entre el 12% y el 18%, lo que indica el éxito o la disminución respecto del perjuicio o daño medioambiental de las mejoras introducidas.

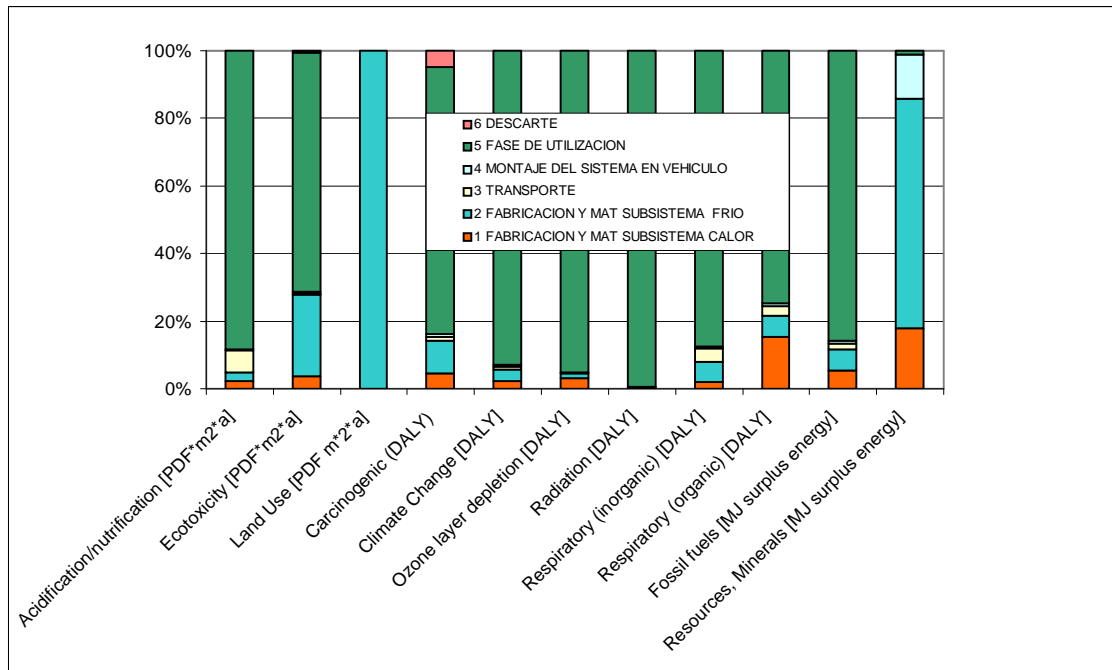


Figura 32. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización. Fases apiladas. Metodología Eco-indicador 99 H/A

Para el caso del componente “Conjunto de Cabina”, la evaluación ambiental se ha desarrollado considerando el cambio de prácticamente el 90% de las piezas (entrono a 50) que componen el conjunto. Una vez identificada con este análisis la mejora ambiental que aporta este cambio, se evaluará técnicamente en profundidad la posibilidad de cambio para cada una de las piezas del conjunto de cabina para determinar la viabilidad técnica del cambio en cada una de ellas.

3.6. EN PANELES FOTOVOLTAICOS

3.6.1. Objetivo, alcance y etapas consideradas

Para este caso el objetivo del estudio es reemplazar la electricidad de la red principal por la electricidad generada mediante fuentes de energía renovables (es decir paneles fotovoltaicos instalados en el techo del coche eléctrico). El primer paso es validar que el uso de la energía renovable es interesante desde el punto de vista medioambiental. La mejora de la tecnología de la fuente renovable elegida no será estudiada de momento.

3.6.2. Metodología y resultados

El objetivo de esta parte del informe es comparar el impacto de la electricidad generada por un panel fotovoltaico (PV) con aquella obtenida directamente de la red. Ahora bien, como se ha podido ver, la electricidad de la red no genera el mismo impacto dependiendo del país considerado. Además, según cada país, el potencial de energía solar disponible varía, por lo que un mismo panel solar no producirá la misma

cantidad de energía en todos los países. Es por todo esto que se ha dividido el estudio en tres partes, una por cada país, Francia, España y Portugal.

En cada una de estas partes se contemplan tres escenarios:

1. **Escenario ideal (100%):** se considera que la totalidad de la radiación solar es captada por el panel y convertida en electricidad según el rendimiento de cada tecnología.
2. **Escenario 50%:** se considera que la electricidad obtenida del panel y que será almacenada para su posterior uso representa el 50% de la cantidad de electricidad estimada en el escenario ideal.
3. **Escenario 25%:** se considera que la electricidad generada por el panel y que será almacenada para su posterior uso representa el 25% de la cantidad de electricidad estimada en el escenario ideal.

Los escenarios 50% y 25% se han contemplado por numerosas razones. En primer lugar, porque el escenario ideal no tiene en cuenta las fluctuaciones de rendimiento de los paneles PV debidas a la variación de temperatura (cuando el panel se calienta, su rendimiento disminuye). En segundo lugar, tampoco tiene en cuenta la inevitable bajada de rendimiento debida al envejecimiento del panel. En tercer lugar, es difícil imaginar que el vehículo estará expuesto constantemente al sol, y sin perturbaciones (sombras, túneles, garajes...). Por lo tanto, nunca captará la totalidad de la radiación solar. Por último, incluso cuando el vehículo está expuesto a la radiación solar, momento en el que el panel produce el máximo de electricidad, es posible que la electricidad producida no pueda ser almacenada (ni posteriormente utilizada) porque la batería esté llena.

Se ha podido también observar que el techo de un vehículo formado por paneles solares es más pesado que un techo convencional. Por ello inducirá a un incremento del consumo del vehículo, el cual será globalmente más pesado. Además, con el fin de optimizar la producción eléctrica de los paneles, lo mejor será estacionar el vehículo en pleno sol. Este hecho provocará un aumento importante de consumo por la climatización, que deberá ser utilizada por el conductor para enfriar el habitáculo sobrecalentado cuando se monte en él para iniciar la marcha.

Una vez vistos los numerosos parámetros que entran en juego, la realización de pruebas en un escenario real permitiría evaluar de manera más precisa la capacidad de producción eléctrica de un panel PV instalado en el techo de un vehículo. Sin embargo, esto último depende enormemente del modo de utilización del vehículo, por ejemplo urbano, con numerosos aparcamientos subterráneos y edificios que generan zonas de sombra, o más bien rural, con grandes espacios abiertos. Es posible pensar de forma razonable que la producción de electricidad fotovoltaica será más elevada en el medio rural. No obstante, en la actualidad, el vehículo eléctrico parece especialmente diseñado para las distancias cortas (principalmente Green Car, coche de tipo urbano), las cuales se encuentran principalmente en los medios urbanos.

De esta forma, parece razonable pensar que, de forma global, solamente entre el 25% y el 50% de la electricidad producida por el panel servirá para alimentar a los equipos auxiliares del vehículo.

Para cada tecnología fotovoltaica, la idea es comparar el impacto medioambiental del ciclo de vida de 1m² de panel con el impacto de la electricidad tomada de la red, en cantidad equivalente a la proporcionada por el panel de 1m² durante 10 años (duración del ciclo de vida del vehículo Green Car).

Red francesa vs. Electricidad fotovoltaica

Para el estudio del caso de Francia se ha elegido como referencia la ciudad de Biarritz, donde la radiación solar media sobre el plano horizontal es de 1.321 kWh/m² año².

El estudio muestra que ninguna tecnología fotovoltaica se desmarca claramente de las otras en cuanto a una eventual ventaja medioambiental respecto de la electricidad de la red francesa. Además, parece que el interés de disponer de un panel fotovoltaico para evitar el consumo eléctrico de la red no está tan claro. De hecho, incluso para un escenario ideal de producción eléctrica, la ventaja medioambiental de la electricidad fotovoltaica es discutible. Además, siendo este escenario poco probable, se comprueba que la utilización de paneles fotovoltaicos en el techo del vehículo eléctrico provocará importantes variaciones de impactos a la escala del mismo. En efecto, en este estudio se limita el uso de la electricidad de la red francesa, lo cual disminuye el impacto medioambiental de la fase de utilización del vehículo pero, al mismo tiempo, la fabricación y el ciclo de vida completo del panel fotovoltaico afectarán aumentando considerablemente el impacto de las fases de fabricación y de fin de vida del vehículo. Por otra parte, se destaca que estas transferencias de impacto divergen según la tecnología PV considerada. Por ejemplo, la transferencia de impacto relacionada al uso del panel Si-m impactará principalmente en la capa de ozono, mientras que el panel Cf-CIS afectará más bien a las categorías de disminución de recursos y eutrofización. Por último, un panel Si-a actuará sobre todo sobre la oxidación fotoquímica.

Red española vs. Electricidad Fotovoltaica

Para España, se ha elegido como referencia la ciudad de Valladolid, donde la radiación solar sobre el plano horizontal es igual a 1.516 kWh/m².año³.

Sea cual sea la tecnología utilizada en España, el impacto de un panel fotovoltaico es siempre menor al de la electricidad de la red (tomado en una cantidad equivalente a la

²Página Web "SODA" pour SOLar radiation DAta, MINES ParisTech - Armines (France)
Valor medio de la radiación solar global, entre 2000 y 2004, sobre el plano horizontal para la ciudad de Biarritz.

³Página Web "SODA" pour SOLar radiation DAta, MINES ParisTech - Armines (France)
Valor medio de la radiación solar global, entre 2000 y 2004, sobre el plano horizontal para la ciudad de Valladolid.

producción del panel durante 10 años). Es decir, que empleando un panel solar, se aumenta el impacto de fabricación y de fin de vida del vehículo, pero al mismo tiempo, se reduce el impacto de la fase de uso (consumo de electricidad de la red), de tal

En conclusión, y contrariamente al caso francés, se puede decir que la generación fotovoltaica permite reducir el impacto medioambiental global del vehículo eléctrico cuando dicha generación es igual o superior al 50% de la electricidad máxima generable, durante los 10 años de vida útil del vehículo. De hecho, con una producción inferior (por ejemplo, escenario 25%), es posible observar variaciones en los impactos debidos a las tecnologías PV, principalmente en la eutrofización, la capa de ozono, la toxicidad humana y la ecotoxicología acuática (las variaciones de impacto varían según la tecnología considerada).

Red portuguesa vs. Electricidad Fotovoltaica

En Portugal, se ha elegido como referencia la ciudad de Lisboa, donde la radiación solar media sobre el plano horizontal es de 1596 kWh/m².año⁴.

A continuación se presentan los valores de electricidad de la red portuguesa con los que se compararán cada una de las tecnologías fotovoltaicas, para los 3 escenarios contemplados:

Se observa que se da el mismo caso que en la situación española. Para el conjunto de categorías de impacto, los paneles fotovoltaicos producen impactos inferiores a los de la electricidad de la red.

Por otro lado, se puede confirmar que ninguna tecnología fotovoltaica se desmarca de las otras, desde un punto de vista medioambiental, hecho ya puesto en evidencia en el capítulo "tecnologías fotovoltaicas". En segundo lugar, se confirma la similitud de las situaciones española y portuguesa en cuanto al interés medioambiental de instalar paneles fotovoltaicos en el techo de un vehículo eléctrico, recordando la notable diferencia con el caso de Francia.

3.6.3. Conclusiones

Desde el punto de vista medioambiental, la electricidad generada por el panel, aunque sea en pequeñas cantidades, debe evitar el consumo de parte de la electricidad de la red. Referente al ciclo de vida del vehículo, el panel fotovoltaico debe reducir el impacto de la etapa de utilización (consumo de electricidad de la red para cargar la batería). Por el contrario, será necesario añadir a las etapas de fabricación y de fin de vida del vehículo el impacto relacionado con la producción del panel así como su eliminación al final de su vida útil.

⁴Página Web "SODA" pour SOLar radiation DATA, MINES ParisTech - Armines (France)

Valor medio de la radiación solar global, entre 2000 y 2004, sobre el plano horizontal para la ciudad de Lisboa.

Los resultados han mostrado una diferencia apreciable entre el caso de Francia por un lado, y los de España y Portugal por otro. Efectivamente, en Francia se mezclan dos efectos. El mix eléctrico genera menor impacto que en España o que en Portugal, y además, la radiación solar es ligeramente inferior, lo cual limita la producción de electricidad de los paneles fotovoltaicos. Este conjunto de circunstancias hace que el uso de la generación fotovoltaica por parte del vehículo eléctrico no sea oportuno en Francia. Como han demostrado los resultados, a no ser que se tenga una recuperación de radiación solar por parte del panel cercana al 100% (escenario 100%, no realista), es mejor utilizar la electricidad de la red, en lugar de instalar un panel fotovoltaico.

En España y en Portugal, los dos efectos que se entremezclan son los contrarios. Es decir, la radiación solar es más importante que en Francia, y los mix eléctricos generan un impacto superior al de Francia. Esta situación parece, a primera vista, más favorable para el uso de tecnologías fotovoltaicas. Sin embargo, los resultados del estudio no permiten justificar tan fácilmente su interés medioambiental. Es cierto que con un mínimo de 50% de radiación solar transformada electricidad (según el rendimiento de cada tecnología), el uso de paneles fotovoltaicos no sólo no provocará un aumento en el impacto, sino que permitirá reducir algunos (de manera más o menos significativa según la categoría de impacto y de la tecnología). Por el contrario, en un escenario más pesimista, se produce un aumento del impacto, lo cual hace que sea discutible la pertinencia medioambiental de la fotovoltaica para una aplicación española o portuguesa. De esta forma, el interés de la fotovoltaica en estos países dependerá principalmente del modo de utilización del vehículo, según la producción de electricidad que permitirá.

Aunque no resulte tan claro como en el caso francés, la conclusión anterior demuestra una vez más la importante variabilidad de los resultados en función de los mix eléctricos considerados y del escenario establecido. Por otra parte, vida útil del vehículo es asimismo un parámetro determinante, ya que alargándola, se consigue que el panel produzca más electricidad, lo cual permite compensar el impacto de su fabricación.

Así, el uso de paneles fotovoltaicos parece discutible desde un punto de vista medioambiental, principalmente causado por el hecho de que los resultados dependen mucho del modo de utilización del vehículo y de la región donde se usa.

En un escenario ideal, y con el mejor rendimiento (Silicio monocristalino del 15%), la producción de electricidad de un panel de 1 m² ubicado sobre un plano horizontal varía entre 198 kWh/año en Francia y 239 kWh/año en Portugal (hay que indicar que, de todos modos, los paneles fotovoltaicos instalados en el tejado de una casa son más o menos eficientes en función de su inclinación, la cual permite captar una radiación solar global mayor).

De esta manera, considerando un uso de 10 años, sería posible, según un escenario ideal, producir entre 1980 kWh en Francia y 2390 kWh en Portugal. Como ya se ha

visto, la energía realmente producida por los paneles fotovoltaicos será menor en función de la utilización del vehículo (estacionamiento subterráneo, etc.), a la cual hay que añadir las pérdidas debidas al rendimiento del convertidor y del sistema de almacenamiento. El rendimiento global del convertidor y del sistema de almacenamiento puede estimarse en torno el 80%. Así, como mucho, solamente el 80% de la energía producida por los paneles será transmitida de forma efectiva a los equipos que hay que alimentar.

La tabla 1 permite ver las diferencias cuantitativas de energía realmente disponible para los equipos auxiliares en Francia y España para diferentes casos (variación de pérdidas). Esta tabla muestra la gran variabilidad de los resultados según las condiciones de utilización del vehículo.

En paralelo a la evaluación de la cantidad de energía producida, resulta conveniente interesarse por su uso potencial en el vehículo. Como ya se ha visto en los trabajos precedentes, el consumo de los equipos auxiliares de un vehículo no puede predecirse y depende fuertemente del modo de utilización del vehículo (trayectos nocturnos, empleo de un GPS...). Con el fin de tener una estimación de las posibilidades de uso de la energía generada por los paneles fotovoltaicos, se han establecido dos escenarios de utilización:

- **Escenario 1:**
 - o Hipótesis:
 - Tiempo de uso: 10 años.
 - Distancia recorrida: 100 000 km.
 - Velocidad media: 50 km/h (ciclo mixto urbano + interurbano).
 - Utilización del vehículo 0,54 h por día, alrededor de 30 minutos por día.
- **Escenario 2:**
 - o Hipótesis:
 - Tiempo de uso: 10 años.
 - Distancia recorrida: 100 000 km.
 - Velocidad media: 30 km/h.
 - Utilización del vehículo 0,91 h por día, alrededor de 1 hora par día.

De esta forma, conociendo el consumo de los equipos auxiliares, es posible completar la tabla 1 añadiendo la cantidad de energía generada por 1 m² de paneles disponibles cada día, de acuerdo con los escenarios 1 y 2.

Tabla 1. Variación de la energía disponible para los equipos auxiliares (producida a partir de un metro cuadrado de paneles fotovoltaicos, según el país y las condiciones de utilización del vehículo) – cálculo de la energía disponible por día según los escenarios de utilización.

	Francia			España		
Energía producida en 10 años (Si-m - rendimiento 15 %)	1.980 kWh/m ²			2.390 kWh/m ²		
Pérdidas debidas a la mala exposición (sombra, aparcamiento...)	0%	50%	75%	0%	50%	75%
Pérdidas debidas al convertidor y al almacenamiento	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Energía disponible para los equipos auxiliares (para 10 años)	1.584 kWh/m ²	792 kWh/m ²	396 kWh/m ²	1.912 kWh/m ²	956 kWh/m ²	478 kWh/m ²
Energía disponible por día de utilización	434 Wh/m ² /j	217 Wh/m ² /j	108 Wh/m ² /j	524 Wh/m ² /j	262 Wh/m ² /j	131 Wh/m ² /j

Una vez que la energía disponible ha sido calculada, es necesario interesarse por la energía necesaria para hacer funcionar a los equipos auxiliares. La tabla 2 proporciona una estimación del consumo del GPS, del ordenador de a bordo, de los faros y de la climatización según los dos escenarios definidos.

Tabla 2. Consumo diario de diferentes equipos auxiliares según los dos escenarios de utilización definidos.

	GPS (7W)	Ordenador de a bordo (30 W)	Faros delanteros + traseros (2*20W + 2*60W)	Climatización (3000 W)
Escenario 1 (0,54 h)	4 Wh	16 Wh	86 Wh	1.620 Wh
Escenario 2 (0,91 h)	6 Wh	27 Wh	146 Wh	2.730 Wh

Comparando las tablas 1 y 2 se observa que, en todos los casos, será posible alimentar al menos al GPS y al ordenador de a bordo. La alimentación de los faros será parcial, y más difícil en invierno porque se usan durante más horas y es la estación menos soleada, en la que los paneles fotovoltaicos producirán menos energía. Por el contrario, la climatización consume demasiada energía como para considerar su alimentación mediante paneles fotovoltaicos.

Otro dato interesante es el consumo total del vehículo eléctrico, el cual puede ser estimado en torno a 11,6 kWh/100 km⁵. El consumo total de energía en un recorrido de 100.000 km es por tanto igual a 11.600 kWh. Comparando este valor con la energía generada por los paneles fotovoltaicos se puede deducir que, en España, el uso de paneles fotovoltaicos podría aumentar la autonomía del vehículo entre un 4% y un 16% (del 3% al 14% en Francia).

⁵ Consumo de un vehículo eléctrico de prueba de potencia máxima de 100 kW, calculado sobre la parte urbana del ciclo NEDC (ECE) – Elias Zgheib, Centre énergétique et procédés, Mines Paris Tech.

4. FUTURO TRABAJO EN EL MARCO DEL PROYECTO GREEN-CAR ECO-DESIGN

En el próximo grupo de acciones del proyecto en el que estamos inmersos, GT4, titulado “Desarrollo y validación del prototipado de los componentes del VE eco-innovados en el GT3” cada uno de los integrantes de este proyecto tiene varios retos por asumir.

Respecto a la batería, **IPS** tiene como objetivo validar su propuesta de ecodiseño desde el punto de vista funcional y los límites de uso que siguen como la mejor solución ambiental. Así, muy resumidamente, en la etapa GT4:

- Se pretende analizar y validar la propuesta de eco innovación (GT3) como una mejor solución ambiental;
- Una vez que la batería se reduzca a la mitad, es necesario verificar su comportamiento en su utilización y compararlo con la batería entera.

De esta manera, los ensayos que se realizarán son los siguientes:

- Ensayo para recogida de características – obtener datos de capacidad, energía, resistencia interna, entre otros;
- Ensayo dinámico de estrés – en este ensayo es realizada carga y descarga mediante un perfil conocido;
- Ensayo de descarga parcial – consiste en un conjunto de descargas parciales de la batería, lo que permite comprobar qué efectos provocan en la capacidad de la batería;
- Ensayo a potencia constante – sirve para verificar la *performance* de la batería en determinadas situaciones.
- Ensayos de rendimiento térmico – tiene por finalidad demostrar el rendimiento térmico de la batería a diferentes temperaturas.
- Ensayo de reserva de capacidad – descargas a corriente constante a fin de conocer el punto donde el valor de la tensión se vuelve demasiado bajo para proporcionar la potencia necesaria.

La **Universidad de Mondragón** ha detectado las siguientes acciones de mejora, recogidas en la tabla 3, que van a acometer en este GT4:

Tabla 3.a. Acciones de mejora de la eficiencia

Estado actual	Acción de mejora (rediseño)	Impacto	Referencia
Inversor trifásico con IGBTs discretos	Nueva tecnología de semiconductores SKIN®	Menores pérdidas, mejor rendimiento global del sistema	SKAI IGBT System (Semikron)

Tabla 3.b. Acciones de mejora de la eficiencia

Estado actual	Acción de mejora (rediseño)	Impacto	Referencia
Inversor trifásico con IGBTs discretos	Nueva tecnología de semiconductores SKIN®	Menores pérdidas, mejor rendimiento global del sistema Contacto por presión en vez de soldado, robustez frente a ciclado térmico y vibraciones Unión de sustrato y silicio por difusión. Mejora la capacidad de trabajar a sobrepotencia	SKAI IGBT System (Semikron)
Topología Hard-Switch	Topología resonante	Mayor frecuencia de conmutación, elementos pasivos más pequeños Conmutaciones suaves, menores pérdidas, menor circuito térmico (radiador) dv/dt relativamente bajas, menor circuito contra EMIs	Entregable GT3 (trabajo interno confidencial del consorcio)
Aplicación Inversor	Sumar la funcionalidad de cargador	2 sistemas en uno, menor tamaño y piezas necesarias	Entregable GT3 (trabajo interno confidencial del consorcio)
Aplicación Inversor	Sumar la funcionalidad de cargador	Ubicación única de los sistemas de electrónica de potencia. Circuito térmico integrado.	

Su objetivo es conseguir un mapa de eficiencia (en par, velocidad) del inversor ecodiseñado para uso en simulaciones cuasiestáticas (Matlab®, Advisor®...) de su fase de uso en su ciclo de vida y un mapa de eficiencia del modo de funcionamiento cargador para uso en simulaciones cuasiestáticas.

Fundación CARTIF tiene previsto construir un prototipo del punto de recarga analizado, sustituyendo un controlador de un punto de recarga instalado en la calle o en un aparcamiento por el nuevo componente prototipado para trabajar con los datos de uso real. Además, se espera que en el desarrollo de ese GT se pueda mejorar aún más la etapa de Uso de la estación de recarga, optimizando el cableado para que también disminuyan las pérdidas del circuito de potencia.

CTM incidirá únicamente en la pastilla de freno para ver si hay distintas alternativas a la reducción de cobre, y no sólo en la inclusión de fibras naturales. También, se pretenden realizar pruebas de desgaste en pastillas que incorporen mejoras ambientales y que han estado cedidas por una empresa colaboradora del proyecto.

Como ya se ha comentado se prevé incorporar la frenada regenerativa en el vehículo y se contempla que afecte de alguna forma al dimensionado del vehículo y a las características de los componentes del sistema de frenos, sin embargo disponemos de poca información al respecto debido a que se encuentra en fase inicial de investigación.

En la siguiente fase del proyecto, **IAT** va a diseñar una batería de experimentos en un VE, con la intención de realizar un estudio cualitativo para evaluar el confort térmico dentro de la cabina. Para ello, tendrán como referencia la norma EN ISO 14505-2. IAT dispone para los experimentos de un coche eléctrico y la colaboración de la empresa COCHELE. En el vehículo se han implementado algunas de las eco-mejoras definidas en la fase 2.5.3 de este informe, instalado varios sensores de temperatura y humedad, además de medir el consumo del sistema de climatización y algún complemento que se ha instalado, como un asiento climatizado que genera frío y calor. La idea es hacer una batería de pruebas, con distintos usuarios, que deben rellenar una encuesta tras la realización de cada ensayo y determinar si con las eco-mejoras introducidas en el sistema el confort térmico se mantiene o no.

Los objetivos:

- Obtener la información necesaria para modelar el comportamiento del sistema de climatización del VE
- Integración del comportamiento del sistema de climatización en el modelo completo del vehículo.
- Comparación del impacto ambiental entre los modelos teóricos y los prototipos desarrollados.
- Optimizar el diseño de componentes eco innovados a nivel de sistema vehicular.

Sistema Original:

- Acuerdo con empresa de alquiler de VE para colaboración en GT4.
- Sensorización y diseño del sistema de adquisición de datos de un VE para el análisis de comportamiento del sistema de climatización.
- Recogida y tratamiento de datos del sistema original, en los distintos escenarios planteados, para la integración en el modelo completo virtual del VE.

Sistema ecomejorado:

- Modificaciones
 - Instalación de asientos climatizados.
 - Sistema de climatización selectiva.
- Recogida y tratamiento de datos del sistema eco mejorado, en los distintos escenarios planteados, para integración en el modelo completo virtual del VE.
- Rediseño de las modificaciones planteadas con vistas a la optimización del sistema a nivel vehicular.

La conclusión del estudio de los sistemas auxiliares alimentados por energía renovables realizado por **ESTIA** es que puede ser conveniente utilizar fuentes de energía renovable en los vehículos eléctricos ya que, aun siendo bajos los niveles de energía recuperada, pueden ser empleados de forma ventajosa para alimentar parte de los equipos auxiliares del vehículo. En contraposición, resulta difícil pronunciarse categóricamente sobre el impacto medioambiental de la tecnología de paneles fotovoltaicos puesto que los resultados dependen mucho de las condiciones de utilización del vehículo. Se están realizando numerosos trabajos con el objetivo de determinar con mayor precisión el impacto de cada tecnología. A título de ejemplo, se puede citar el programa SPACE-PV (Eco-diseño de un sistema fotovoltaico mediante el análisis de su ciclo de vida y su impacto sobre el medio ambiente), cofinanciado por la ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) y cuyo objetivo principal es aportar argumentos científicos, técnicos y económicos sobre la posición de la generación fotovoltaica en cuanto a impacto medioambiental.

Una vez demostrado el interés de recuperar esos bajos niveles de energía, resulta pertinente interrogarse sobre los niveles de energía recuperables por otros tipos de dispositivos. Se ha visto que la recuperación de energía en los amortiguadores es una interesante línea de investigación. En el estado actual del conocimiento, el primer trabajo que hay que efectuar es la evaluación de la energía recuperable y el estudio de la factibilidad de un dispositivo de ese tipo. Una vez validado el interés de la recuperación de energía en los amortiguadores, convendrá entrar en la fase de eco-diseño de un dispositivo industrial. De esta forma, el trabajo futuro en este proyecto consistirá en la realización de un prototipo de recuperación de energía en los amortiguadores.

Para más información, visite nuestra página web:

www.greencar-ecodesign.com