



HAL
open science

Diseñando el coche eléctrico en clave medioambiental

N. Garcia, L. Pablos, A. Moral, M. Mesas, L. Puigmal, X. Font, I. Gonzalez,
D. Garrido, D. Justel, R. Camacho, et al.

► **To cite this version:**

N. Garcia, L. Pablos, A. Moral, M. Mesas, L. Puigmal, et al.. Diseñando el coche eléctrico en clave medioambiental. 2013, pp.58. hal-00853335

HAL Id: hal-00853335

<https://hal.science/hal-00853335v1>

Submitted on 22 Aug 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Diseñando el coche eléctrico en clave medioambiental

Las ventajas económicas del vehículo eléctrico (VE) son de sobra conocidas. Las medioambientales, menos. El proyecto europeo Green-Car Eco-Design, realizado entre 2011 y 2013 y en el que han participado siete institutos y centros tecnológicos europeos –cinco españoles–, ha consistido, precisamente, en incluir esta variable medioambiental durante el proceso de diseño y desarrollo de los componentes principales del VE y aumentar, así, el conocimiento de este impacto a lo largo de su ciclo de vida.

Varios autores *

El Ecodiseño es una metodología que permite tener en cuenta el medio ambiente a la hora de tomar decisiones como un factor adicional a los que tradicionalmente se han tenido en cuenta (costes, calidad), esforzándose por conseguir el impacto ambiental mínimo posible con perspectiva de ciclo de vida. Se trata, por tanto, de una herramienta absolutamente necesaria para avanzar en el camino de la sostenibilidad de cualquier bien o actividad. Y a ella han recurrido los expertos de Cartif y los restantes institutos y centros tecnológicos europeos participantes en el proyecto Green-Car Eco-Design, cofinanciado con fondos FEDER.

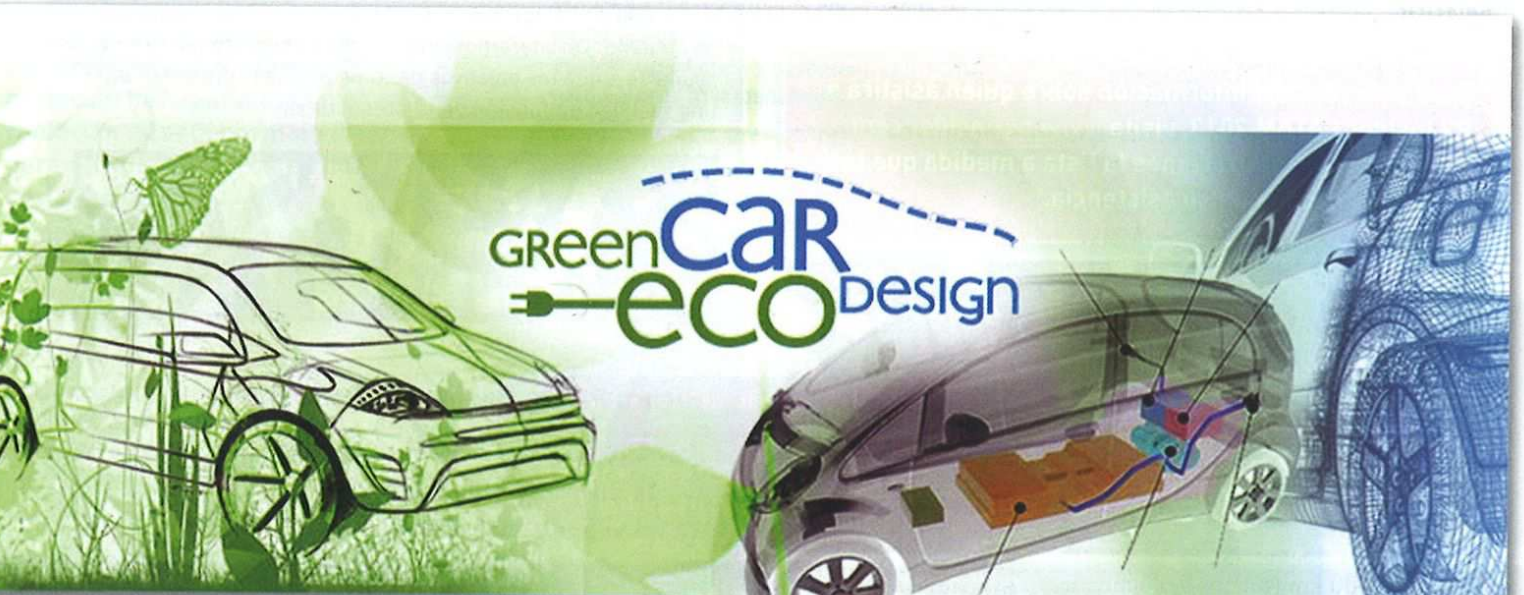
Primera etapa

En primer lugar, con el fin de conocer el comportamiento inicial y poder proponer acciones que supusieran una mejora del impacto global, decidimos centrar el estudio en los siguientes componentes del vehículo: batería, convertidor, puntos de recarga, frenos y sistema de climatización. Adicionalmente, analizamos la capacidad de alimentar sistemas auxiliares a través de energías renovables.

Para cada componente que analizamos, averiguamos cuál era el perfil ambiental de dos tecnologías existentes en la actualidad mediante la herramienta “Análisis del Ciclo de Vida”, sistematizada por la serie de normas internacionales ISO 14040.

En la fase de “Definición de Objetivos y Alcance” nos aseguramos de que los componentes objeto de eco-rediseño configuraran la topología de un vehículo eléctrico concreto. Se trata de un turismo de uso particular de 5 plazas, 1.200 kg de masa y tracción delantera. Tiene una autonomía de 140 km en condiciones ideales en recorrido urbano, circulando a una velocidad promedio de 35 km/h, máxima de 120 km/h, y con capacidad de superar pendientes de hasta el 20%.

La batería se recarga con un sistema de recarga lenta. Al no ser el chasis y la carrocería objeto del eco-rediseño se utilizan en la simulación datos de un vehículo real con prestaciones similares. La función del siste-



ma es recorrer 100.000 km durante su vida útil, estimada en 10 años, transportando como único pasajero al conductor y satisfaciendo los requisitos anteriores. Se dejan fuera de los límites del sistema el montaje de componentes en el vehículo y otros transportes distintos de los de los materiales que constituyen los componentes y los de los escenarios de fin de vida.

Los datos ambientales recopilados en la fase de "Análisis de Inventario" proceden en su mayor parte de los fabricantes de estos componentes, que han colaborado en el proyecto a través del comité asesor. Esta información ha sido complementada por validaciones experimentales propias en lo que se refiere a la etapa de uso, por su especial relevancia. También fue necesaria una búsqueda en las bases de datos presentes en los software comerciales SimaPro y GaBi y en otras referencias bibliográficas, tales como artículos científicos y fichas de tipo "Declaraciones Ambientales de Producto".

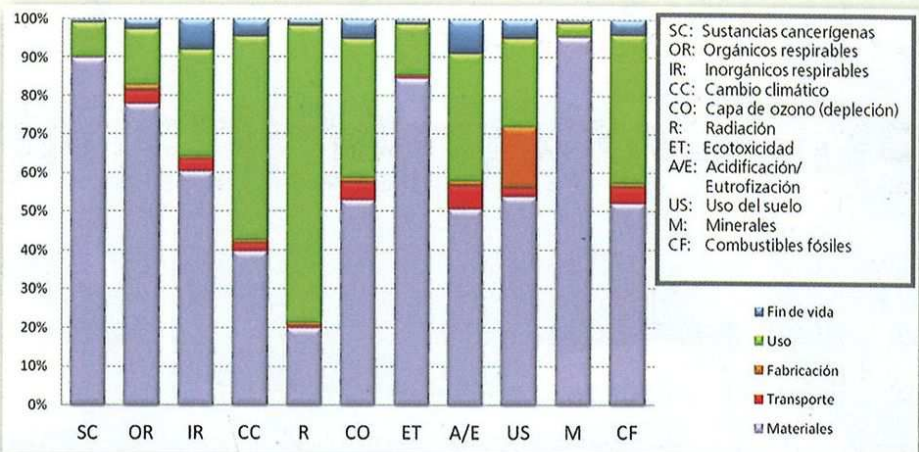
La "Evaluación de Impacto" se realizó con dos metodologías: Eco-Indicador'99 H/A y CML Baseline 2000, si bien en este trabajo sólo se reflejan los resultados de la primera de ellas, correspondientes a la fase "Evaluación de daño". A partir de los resultados obtenidos se valoraron desde el punto de vista teórico distintas estrategias de ecodiseño de la rueda LiDS, implementando en la fase de prototipado las medidas más viables técnica y económicamente entre las que suponían una mejora ambiental del componente.

Rediseñando los componentes: la batería

Si bien cada uno de los componentes analizados tiene su particular interés, aquí solo presentamos más detalladamente el caso de la batería. En concreto, el Instituto Politécnico de Setúbal IPS analizó una batería constituida por 500 células con cátodo de óxido de litio manganeso y ánodo de grafito, que tiene una masa total de 200 kg y permite una autonomía de 140 km circulando a 60 km/h. En el gráfico titulado "Impacto ambiental de la batería" se puede observar el perfil ambiental del ciclo de vida de la batería estudiada, en el que la etapa de "Materiales" es la principal responsable del impacto en casi todas las categorías.

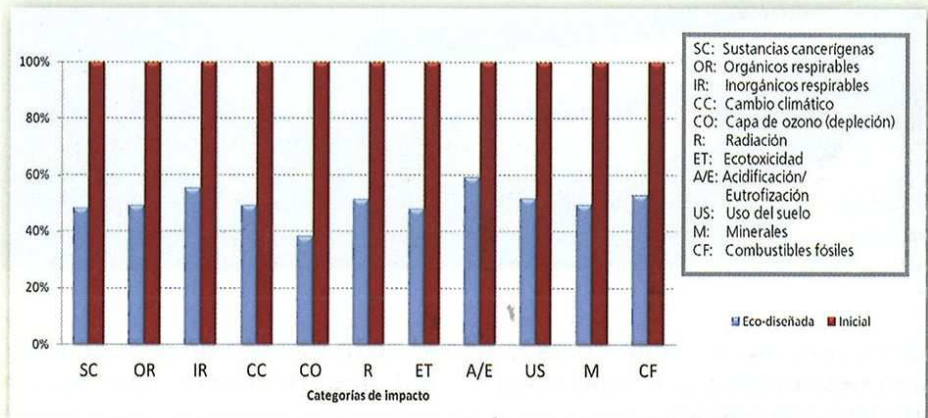
Por este motivo, la estrategia implementada en la fase de prototipado fue reducir la batería a la mitad de tamaño y agregar un extensor de autonomía, que entraría en funcionamiento en viajes largos de hasta 400 km (menos frecuentes).

Impacto ambiental de la batería



El estudio ambiental del ciclo de vida de la batería puso de manifiesto que la etapa de Materiales es la principal responsable del impacto en casi todas las categorías.

Reducción del impacto de la batería tras ser eco-rediseñada



El eco-rediseño de la batería permitió reducir los impactos ambientales en todas las categorías.



El Instituto Politécnico de Setúbal (IPS), el centro portugués participante en el proyecto, analizó una batería constituida por 500 células con cátodo de óxido de litio manganeso y ánodo de grafito, de 200 kg de peso. Otros elementos analizados bajo la perspectiva medioambiental fueron las pinzas y las pastillas de freno del vehículo.

Este nuevo elemento consistió en un grupo motor-generator de 5 kW de gasolina, 1 cilindro, depósito de 12 L y 80 kg de masa. Como resultado del eco-rediseño de la batería, se redujeron los impactos ambientales en todas las categorías.

Modelización virtual

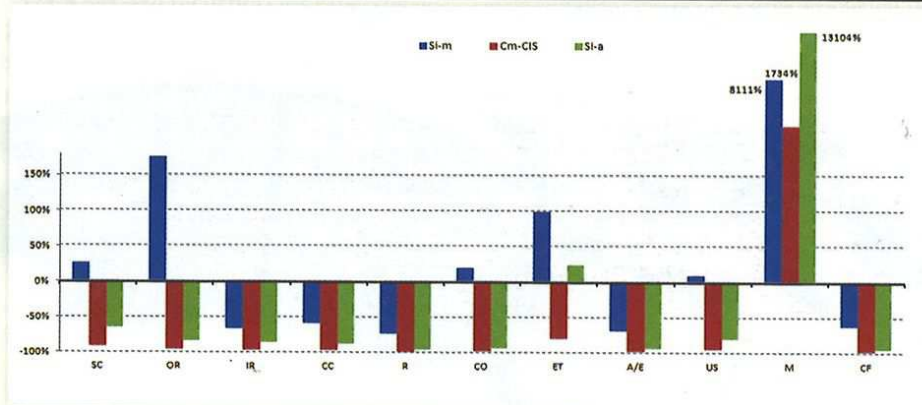
Las interacciones dinámicas entre los componentes de los vehículos eléctricos hacen indispensable una modelización



Del sistema de climatización se ocupó el Instituto Andaluz de Tecnología (IAT), mientras que CARTIF analizó un punto de recarga de un solo conector de 3,7kW a 16 A.



Comparación del impacto asociado al ciclo de vida de 1 m² de tres paneles fotovoltaicos con respecto a la electricidad recuperable en diez años de vida útil



Se puede observar que los paneles son más impactantes que la electricidad procedente de la red en la categoría de Minerales, resultando más respetuosos ambientalmente en prácticamente el resto de categorías.

virtual para el análisis de la gestión energética. Se definieron los datos generales del vehículo (peso, dimensiones, modelo de ruedas, batería sin y con extensor de rango, motor eléctrico, generador y electrónica asociada, sistema de transmisión, aire acondicionado y otros auxiliares) y una ruta (ciclo mixto NEDC, velocidad constante y test de autonomía).

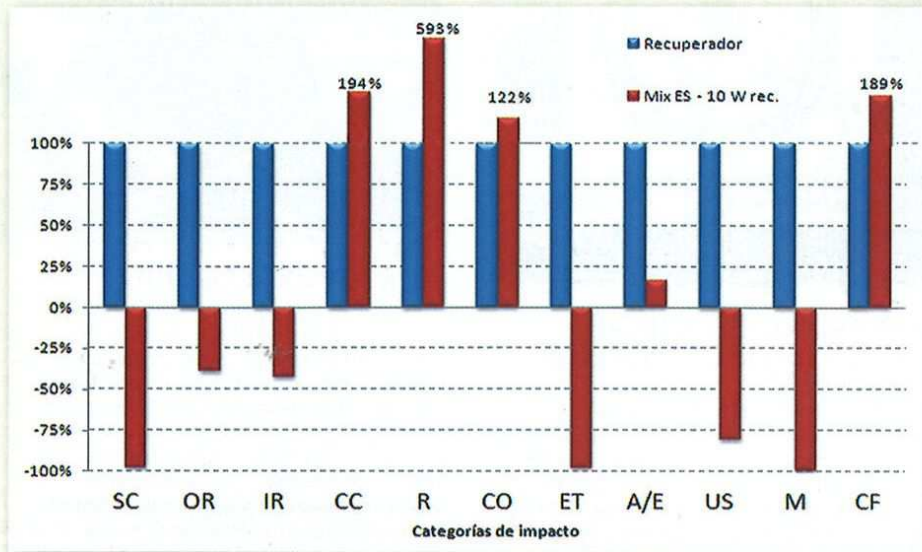
En la simulación mediante *software*, el Instituto Tecnológico de Aragón (ITA) programó un recorrido para cada ruta (con comienzo y parada a velocidad cero) y calcularon los pares, velocidades, corrientes y potencia que es necesario suministrar a cada componente para cumplir la consigna de velocidad en cada instante de tiempo. También llevaron a cabo un aná-

lisis de sensibilidad, variando algunos factores tales como:

- ✓ El peso (nº de ocupantes). Un incremento de peso de 100kg disminuye la autonomía en 4,8 km.
- ✓ Las ruedas. A 60 km/h, el uso de neumáticos de alta eficiencia aumenta la autonomía del vehículo eléctrico en 24 km.
- ✓ El consumo de auxiliares. A partir de datos experimentales, se obtuvo que para un nivel bajo de climatización (25%) se consumen 1,8 A y para uno alto (100%) se consumen 5,2 A. De modo que el consumo modelado es de entre 720 W y 2.080 W (considerando que el voltaje de la batería es 400 V).

✓ Disminución del tamaño de la batería por mejora del inversor. Suponiendo el consumo igual al inverso de la autonomía, y teniendo en cuenta el "New European Driving Cycle" (prueba parametrizada a la que todos los fabricantes deben someterse para homologar el consumo de un coche), y rutas previas por Zaragoza modeladas por el ITA, se obtiene que el rendimiento del inversor aumenta un 40%, lo que causa una disminución del tamaño de la batería del 40%.

Impacto asociado al ciclo de vida del recuperador vs. mix energético español



En esta figura aparece la comparación del impacto asociado al ciclo de vida del recuperador vs. mix energético español, supuesto que proporciona 10 W a razón de 0,91 h/día. El recuperador es más favorable en las categorías de impacto Cambio Climático, Radiación, Capa de Ozono y Combustibles Fósiles.

Alimentación con energías renovables

En la Ecole Supérieure des Technologies Industrielles Avancées (ESTIA, Francia) estudiaron de forma teórica distintas posibilidades para alimentar a elementos auxiliares, como el GPS o el ordenador de a bordo. Desde el punto de vista ambiental, el interés de su empleo se basa en la comparación con la energía procedente de la red eléctrica, teniendo en cuenta que tienen que compensarse los materiales, los procesos de fabricación y el aumento de peso que supone incorporar estos sistemas.

El consumo de los elementos auxiliares es variable ya que depende del trayecto y del usuario. La cantidad de energía recuperable también varía:

- ✓ La captación depende de la insolación que reciben (en función del clima, la estación del año, la hora del día, de las zonas umbrías por edificios, túneles, etc. en circulación, o de si se estaciona en un aparcamiento subterráneo).

- ✓ El rendimiento de conversión depende de la tecnología fotovoltaica pero, además, disminuye por envejecimiento del panel y fluctúa con el calentamiento.

- ✓ El potencial almacenamiento de la energía solar depende del nivel de carga de la batería.

Debido a que el *mix* energético tiene diferente impacto ambiental dependiendo de la localización geográfica que se estudie, se presenta aquí de ejemplo la ciu-

dad de Valladolid, tomando como *mix* el correspondiente a España en el informe de 2012 de ESU-services Ltd. Se analizaron distintos escenarios para tres tecnologías fotovoltaicas que pueden instalarse en el techo del VE: silicio monocristalino, capa fina cobre-indio-selenio y silicio amorfo. El impacto de los paneles también depende de su lugar de fabricación (*mix*, transporte) y se consideraron las tecnologías presentes en los procesos de la base de datos Ecoinvent.

La figura 8 recoge la comparación del impacto asociado al ciclo de vida de 1 m² de tres paneles fotovoltaicos con respecto a la electricidad recuperable en diez años de vida útil, suponiendo que se capta, convierte y almacena (según el rendimiento de cada tecnología) el 50% de la radiación solar sobre el plano horizontal (estimando el valor medio en Valladolid entre 2000 y 2004 en 1.516 kWh/m²/año). Se puede observar que los paneles son más impactantes que la electricidad procedente de la red en la categoría de "Minerales", resultando más respetuosos ambientalmente en prácticamente el resto de categorías.

En la fase de prototipado, ESTIA construyó un recuperador de la energía de los amortiguadores a tamaño real sobre un banco de prueba que representaba la cuarta parte del vehículo. Se puede concluir que la bobina de cobre representa la mayor parte del impacto en todas las categorías excepto en "Cambio Climático", "Capa de Ozono" y "Combustibles Fósiles", en las que son los

imanes los principales responsables del impacto.

Debido a que la cantidad de energía es variable en función del estado de las carreteras y del modo de conducción, se establecieron distintos escenarios para comparar el impacto de este sistema con el de la energía procedente de la red. La comparación del impacto asociado al ciclo de vida del recuperador vs. mix energético español, supuesto que proporciona 10 W a razón de 0,91 h/día, indicó que el recuperador es más favorable en las categorías de "Impacto Cambio Climático", "Radiación", "Capa de Ozono" y "Combustibles Fósiles."

Los resultados mejorarían si se realizara un dimensionamiento de la potencia recuperable ajustado al consumo de auxiliares más cercanos a los amortiguadores que a la batería, a los que puede alimentar sin necesidad de almacenamiento (menor cable), o si se contemplara la reutilización de los imanes.

Escenarios de implantación

Para calcular la mejora ambiental global a consecuencia de la implantación del VE se deben tener en cuenta los factores recogidos en la figura 3 que lo comparan con uno equivalente en peso y propiedades (excluida autonomía) de motorización gasolina. En cuanto al ahorro energético y de huella de carbono, por cada vehículo a gasolina sustituido por uno eléctrico, si se recorren 10.000 km/año se dejarían de emitir 1,2 t de CO₂/año.

El proyecto Green-Car Eco-Design ha estado coordinado por Cartif, centro Tecnológico ubicado en Valladolid y dedicado a la investigación científica, la transferencia de tecnología, el desarrollo de la sociedad de la información y la promoción de la sostenibilidad.

Más información:

→ www.cartif.com

*Autores: García, N.(1); Pablos, L.(1); Moral, A.(1); Mesas, M.(2); Puigmal, L.(2); Font, X.(2); Gonzalez, I.(3); Garrido, D.(3); Justel, D.(3); Camacho, R.(4); Campos, J.M.(4); González, L.C.(4); Alfonso, J.(5); Artech, F.(5); Pascual, O.(5); Hacala, A.(6); Curea, O.(6); Maia, J.(7); Soares, A.(7); Camilo, F.(7)

(1) Centro Tecnológico Cartif (→ www.cartif.com)

(2) CTM Centre Tecnològic (→ www.ctm.com.es)

(3) Mondragón Goi Eskola Politeknikoa

(→ www.mondragon.edu/es/eps)

(4) Instituto Andaluz de Tecnología (→ www.iat.es)

(5) Instituto Tecnológico de Aragón (→ www.ita.es/ita/)

(6) Ecole Supérieure des Technologies Industrielles Avancées

(→ www.estia.fr)

(7) Instituto Politécnico de Setúbal (→ www.ips.pt)