

INCLUSION OF ENVIRONMENTAL PARAMETER IN THE REDESIGN OF THE HVAC SYSTEM OF AN ELECTRIC VEHICLE

Serrano Bello, Rafael; Campos Gómez, Juan María; González Valencia, Luis Carlos

Instituto Andaluz de Tecnología

The work has been to design a HVAC system improving its environmental performance in an electric vehicle. For this we have analyzed the impact it produces, along its life cycle, the HVAC system of an existing electric vehicle, with the help of LCA methodology. Once this impact was known, Ecodesign techniques were applied to improve the HVAC system and get a new system, environmentally improved. To certify this improvement, the new system was design and prototyped, and the results of both were compared. The information needed to model the behavior of the HVAC system was made by acquiring data over trials with a sensorised electric vehicle under different weather conditions.

These tasks were covered by the consorcial project "Green -Car Eco -Design " which aim was the inclusion of the environmental variable in the design stage (UNE 150301) of the main components of electric vehicles, and increase awareness of their environmental impact throughout its life cycle.

Keywords: *Design; Electric vehicle; HVAC; LCA*

INCLUSIÓN DE VARIABLE AMBIENTAL EN EL REDISEÑO DE SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO

El trabajo ha consistido en diseñar un sistema de climatización de un vehículo eléctrico mejorado su desempeño medioambiental respecto de los actuales. Para ello se ha analizado el impacto que produce, a lo largo de su ciclo de vida, el sistema de climatización de un vehículo eléctrico de fabricación seriada mediante la metodología ACV. Una vez conocido este resultado se aplicaron técnicas de Ecodiseño para mejorar dicho sistema de climatización y obtener uno nuevo, mejorado medioambientalmente. Para certificar esta mejora se realizó un nuevo ACV del sistema de climatización mejorado y se compararon los resultados de ambos. La información necesaria para modelar el comportamiento del sistema de climatización se hizo mediante la adquisición de datos a través de ensayos con un vehículo eléctrico sensorizado, bajo distintas condiciones climatológicas.

Estas tareas estaban englobadas en el proyecto consorciado "Green-Car Eco-Design" cuyo objetivo era la inclusión de la variable ambiental en la etapa de diseño (UNE 150301) de los componentes principales del vehículo eléctrico, y aumentar el conocimiento de su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida.

Palabras clave: *Diseño; Vehículo eléctrico; Climatización; ACV*

Correspondencia: rserrano@iat.es

1. Introducción

En la actualidad, el diseño de cualquier producto ya no puede estar desvinculado de su análisis ambiental, ya que los impactos que se producen a lo largo de la vida útil deben estar controlados y minimizados desde la misma fase de diseño y concepción. Con el trabajo que se presenta en este artículo se pretende, además de divulgar los resultados técnicos específicos alcanzados en el proyecto "Green-Car Eco-Design", mostrar la capacidad de la metodología de Ecodiseño para conseguir productos innovadores. El enfoque del trabajo ha consistido en aplicar la metodología de Ecodiseño al sistema de climatización de un vehículo eléctrico (VE). Mediante la incorporación de eco-innovaciones se ha conseguido una mejora del comportamiento ambiental sobre los componentes de partida. Para cuantificar el grado de mejora ambiental alcanzado con respecto a las tecnologías existentes se ha utilizado la metodología CML 2001.

El sistema de climatización de un vehículo puede afectar significativamente al consumo combustible y a las emisiones de gases de efecto invernadero y de partículas. Estos efectos son comunes a las diferentes tipologías de vehículos actuales, pero cobran una especial importancia para vehículos híbridos y eléctricos, ya que el uso de dichos sistema supone una disminución considerable del alcance de estos, aspecto fundamental y requisito básico para su uso extendido.

Un automóvil es usado, de media, 41 minutos al día y el aire acondicionado permanece encendido entre el 43% y el 49% del tiempo. Dichos datos depende, por supuesto, de multitud de variables: condiciones climatológicas, hora del día, época del año, tipo de vehículo, color del vehículo, parking interior / exterior, ropa de los ocupantes, longitud del viaje, velocidad del vehículo, etc. (Weilenmann, M.F, 2010).

2. Definición del alcance, unidad funcional y límites del sistema.

En primer lugar, es preciso definir el escenario de uso del VE:

- Topología: recorrido de 100.000km en un entorno llano, un pasajero de 70 kg, masa del vehículo 1200 kg, autonomía 140 km, velocidad máxima 120 km/h, velocidad media 35 km/h y vida útil del vehículo de 10 años.
- Las condiciones climatológicas habituales en el escenario de uso (Andalucía), el número de veces que se usa el A/C en modo frío, y en modo calor. En el apartado "límites del sistema" se definirán los escenarios climatológicos de uso.

La unidad funcional, definida como la 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. Se toma como unidad de medida la Kcal.

Los límites 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 hasta la planta de montaje del sistema de climatización, la fase de uso y por último, el transporte de los productos y subproductos generados a los distintos gestores autorizados y su posterior tratamiento.

3. Análisis de inventario del sistema de climatización original

El peso del sistema de climatización una vez excluidos los elementos que no entran en el ACV es de 42,5Kg. Se han definido como entrada todas aquellas piezas que se necesitan para el montaje de cada componentes, como la carcasa, soportes, elementos de unión (tornillería, tuercas arandelas, grapas, etc.) y los elementos auxiliares como agua, aire

comprimido, lubricantes, energía térmica y eléctrica. También los materiales para el empaquetado, como el film para envolver, cartón, grapas y el fuel necesario para el transporte y la electricidad.

Como salida se han determinado el propio producto que resulta (sistema de climatización), las emisiones CO₂, pérdidas de gas refrigerante R134a desde el sistema (Minnesota Pollution Control Agency [MPCA], 2011), virutas de metal, retales, aguas contaminadas, residuos de aceites o lubricantes, residuos de los materiales de packaging generadas durante el proceso de producción.

3.1. Asignaciones y calidad de datos

Para determinar el consumo durante la etapa de uso del sistema de climatización se han realizados asignaciones basadas en la frecuencia de uso, tanto para frío como para calor. Se han establecido tres escenarios de uso para dividir esa frecuencia en tres magnitudes. El escenario resultante más desfavorable, en cuanto a consumo de energía por el sistema, es el cálido.

Tabla 1. Cálculo del consumo eléctrico del sistema de frío

FRIO								
10 años	100.000 km	Tipo de escenario	km	horas AC de utilización	consumo compresor	consumo blower	Total (kWh)	MJ
	6%	Escenario frio	6.000	171,43	360	38,57	398,57	860,91
	11%	Escenario templado	11.000	314,29	660	70,71	730,71	1578,34
	33%	Escenario cálido	33.000	942,86	1980	212,14	2192,14	4735,03

Fuente: Rijkeboer RC et all. 2002

Tabla 2. Cálculo del consumo eléctrico del sistema de calor

CALOR						
%	Tipo de escenario	km	horas	Consumo PTC (kWh) y blower		MJ
6%	Escenario frio	61.000	1742,86	3137,14		6776,23
11%	Escenario templado	51.000	1457,14	2622,86		6556,37
33%	Escenario cálido	28.000	800,00	1440,00		3110,40

Fuente: Europe Climate Historical. Data.<http://www.wunderground.com/>

Para el uso del compresor se ha tomado datos del trabajo (Thoma V.M, 2010). En éste, que para un clima mediterráneo (California) se mide el funcionamiento de compresor en vehículos convencionales obteniendo un 64% del tiempo de funcionamiento del mismo cuando la climatización esta activa

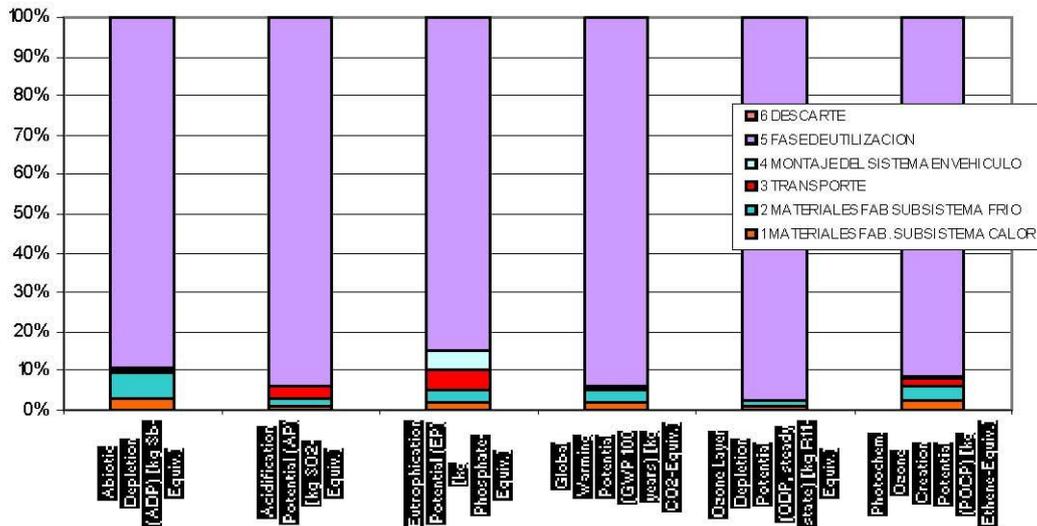
3.2. Análisis e interpretación de los resultados

A continuación se analiza la carga ambiental que supone cada etapa en las distintas categorías de impacto. Se observa claramente en la figura 2 que la etapa de uso es la que contribuye a aumentar el impacto en todas las categorías.

Se observa en la siguiente tabla, figura 3, apilando las fases por categorías de impacto, que la categoría más afectada con gran diferencia es Global Warming Potencial, con el 93,4%,

(el total es 16746) y que distinguiendo por fases del ciclo de vida, la fase de uso es la que más contribuye en esta categoría aportando 15652,50 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.]. Si se elimina la fase de uso, para tener una idea más exacta de cómo colaboran las demás fases, figura 4, se observa en la tabla siguiente, que los materiales y la producción del subsistema frío es la fase más preponderante con 571,39 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.], que representa el 3.4% del total. Le siguen subsistema calor con 300 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.], 1.78% y el transporte con 96 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.], el 0.5%. Si además se analiza dentro de los componentes del subsistema frío, figura 5, se descubre que el conjunto de cabina es el más perjudicial con 292 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.] que equivale al 1.74%, seguido por la Unidad PTC CON 210, el 1.25% y el compresor con 177, el 1.05%. Esto quiere decir que existen dos componentes, el conjunto de cabina y compresor, que aportan más que la suma de todos los demás.

Figura 1. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización, por fases apiladas, metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe



Luego para introducir eco-mejoras en el sistema deben estar orientadas a paliar la excesiva carga que provoca la fase de uso, y rebajar el consumo energético en esta fase, por lo que se puede decir que se ha identificado un componente (y un material, el polipropileno) sobre el que actuar con eco mejoras.

Figura 2. Caracterización del impacto, fases agrupadas, asociado al ciclo de vida del sistema de climatización. Metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe

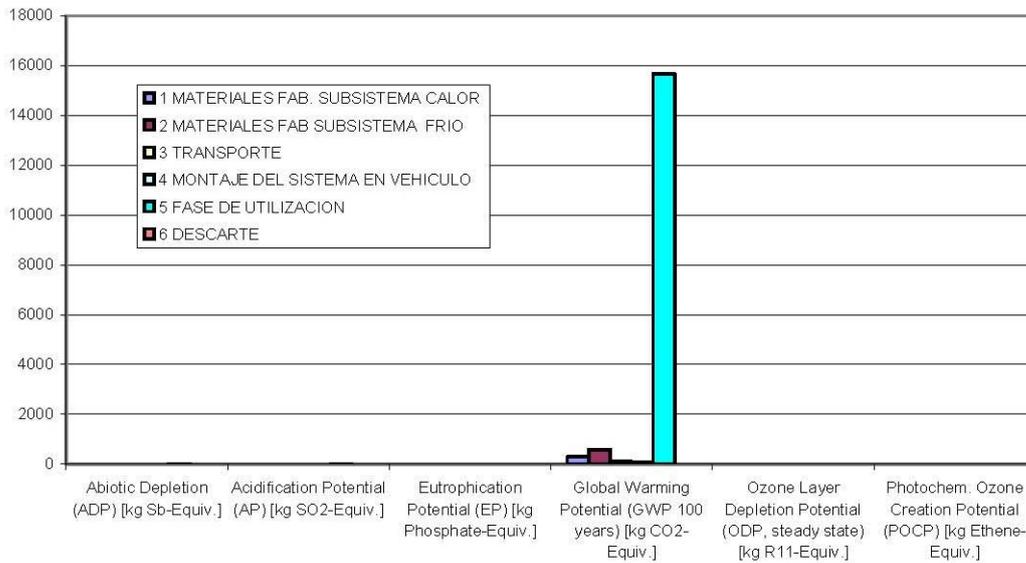
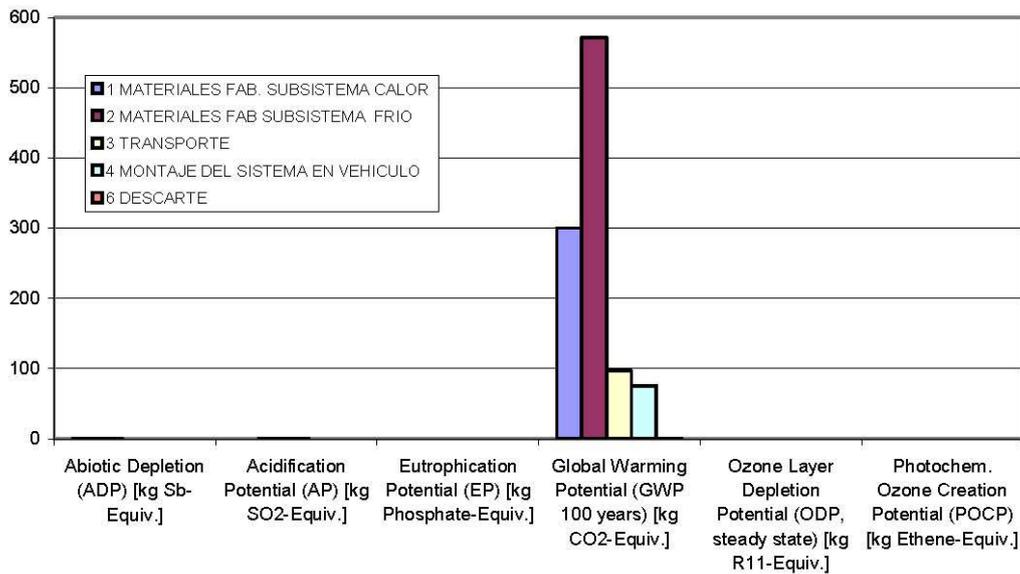


Figura 3. Caracterización del impacto, fases agrupadas sin contar uso, metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe



3.3. Interpretación de los resultados

La conclusión más significativa 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. Este hecho, hace que los impactos de las otras etapas sean mínimos comparados con esta

Figura 4. Caracterización del impacto, componentes del sistema frío del sistema de climatización. Metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe

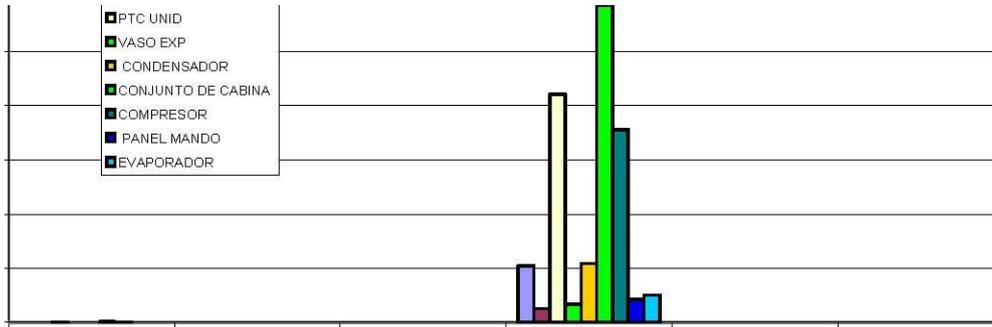
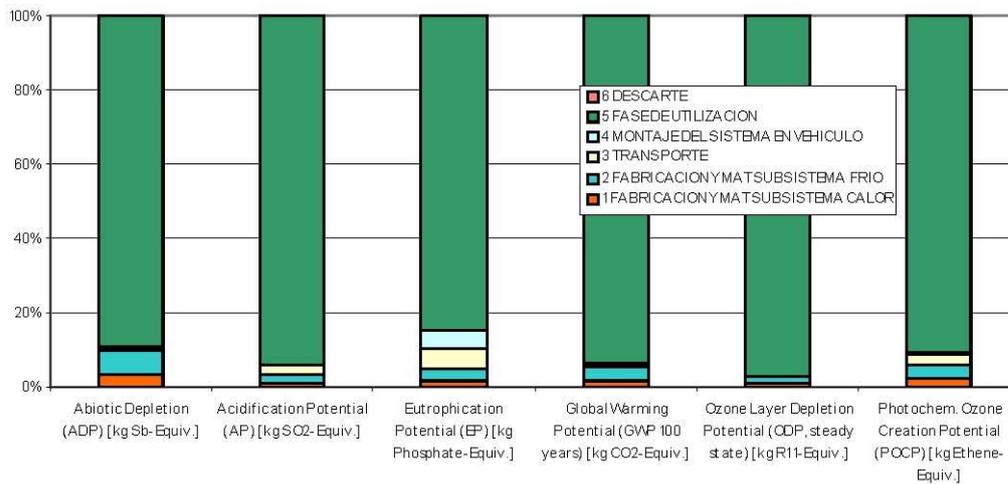


Figura 4. Caracterización del impacto, componentes del sistema frío del sistema de climatización. Metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe



Por tanto deben buscarse soluciones que disminuyan el consumo de energía en la fase de uso 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 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.

4. Sistema de climatización Eco-mejorado

4.1. Objeto, alcance y límites del nuevo sistema

La función principal de este nuevo 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 categorías más afectadas por el sistema de partida; la categoría de cambio climático, la respiración de

elementos inorgánicos, y el calentamiento global (según CML 2001). Se proponen las siguientes mejoras en tres componentes del nuevo sistema de climatización:

El conjunto de cabina. Se puede analizar un cambio de material y prever el impacto que pueda tener. La carcasa de este componente es de material plástico que 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. Este material tiene la desventaja de poseer una mayor densidad (entre 2 y 3 veces más que el polipropileno).

Por lo tanto se va a analizar un conjunto de cabina cuyo material es cerámico (cerámica blanca sanitaria), aunque no en su totalidad. Se mantendrá el polipropileno en algunos subcomponentes.

Tabla 3. Cálculo de peso del nuevo conjunto de cabina cerámico

Comparación de materiales	Peso	Ud
Peso del PP, sistema original	6500,00	gr
Peso cerámica, (densidad 2,6kg/dm ³) Sistema mejorado.	18777,78	gr

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.

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.

4.2. Calidad de los datos

En este nuevo ACV, para determinar la asignación del consumo durante la etapa de uso del sistema de climatización se han realizados cálculos basado en la frecuencia de uso, tanto para frío como para calor. El consumo de la unidad PTC se definió como el 50% de la del sistema preliminar. Esta reducción se ha basado en los trabajos (Lon. E. Bell, 2008). Se han establecido tres escenarios de uso para dividir esa frecuencia en tres magnitudes. Los datos de frecuencia de uso, tanto para frío como calor se han extraído de los estudios que se mencionan en las mismas tablas donde se muestran los datos calculados. La asignación para el consumo del sistema frío es el mismo que se muestra en 2.1.2.3, en cuanto al sistema de calor, la asignación que muestra en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Cálculo del consumo eléctrico del nuevo sistema de calor

NUEVO SISTEMA DE CALOR						
%	Tipo de escenario	km	horas	Consumo PTC (kWh)	Asientos W	MJ
61%	Escenario frío	61.000	1742,86	1567,57	71,00	3459,11
51%	Escenario templado	51.000	1457,14	1311,43	71,00	2903,69
28%	Escenario cálido	28.000	800,00	720,00	71,00	2903,69

El escenario más desfavorable sigue siendo el cálido con un consumo energético de 6361MJ frente a los más de 7845 MJ del sistema preliminar. Para los datos de consumo del proceso de secado y cocción se han realizado las asignaciones siguientes. Los datos se han extraído del fabricante Keramosse.

Tabla 5. Cálculo de consumo eléctrico sistema de calor

TALLER CERAMICA CONSUMO HORNO ELECTRICO				
Horno eléctrico 300L	Consumo 9,5kw/h	Tarda una 8 Horas en cocer, Rampa 100% las 2h primeras, 30% resto	Kw capacidad para 300L (Und)	Consumo del horno según rampa de calentamiento 33,25 Kw/h

Tabla 6. Asignaciones de emisión de proceso de secado y cocción, según UIS-IDEAM

Emisiones secadero más cocción	HORNO kg emitidos por Tn producida	SECADO kg emitidos por Tn producida	Emisiones para 18,78Kg
CO ₂	146	30,72	3,3188016
SO ₂	0,84	0,175	0,0190617
Partículas	5,54	1160	21,8888412
Vapor de agua	43,8	10496	197,937444

Fuente: Cálculos grupo de investigación UIS-IDEAM

4.3. Interpretación de resultados

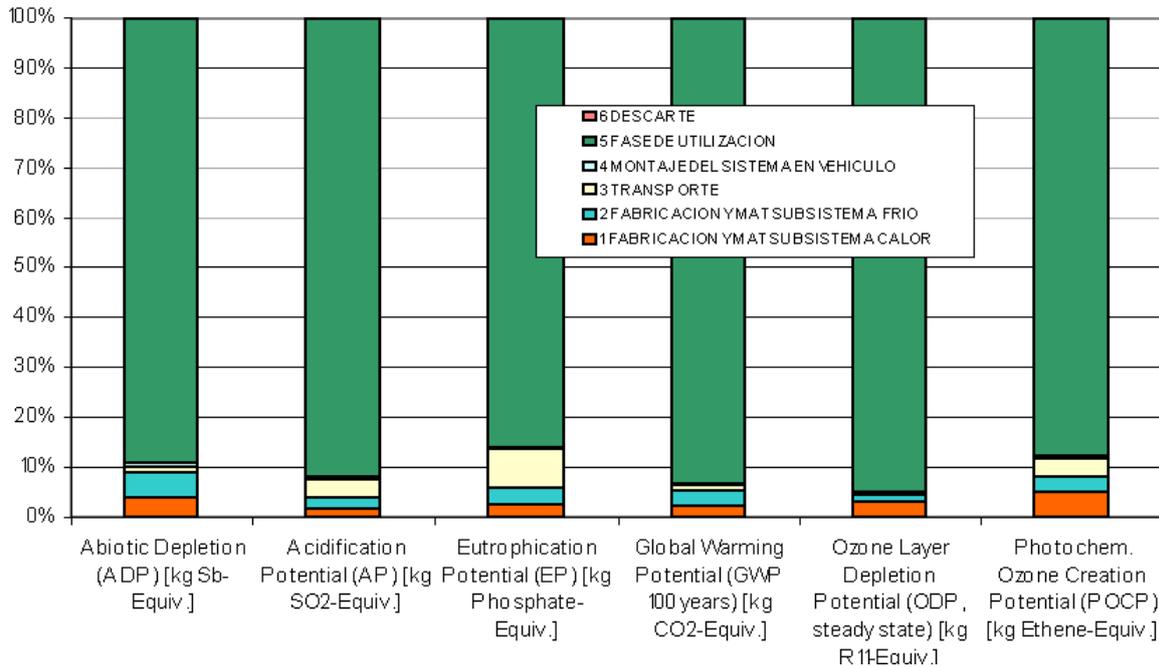
A continuación se analiza la carga ambiental que supone cada etapa en las distintas categorías de impacto en el nuevo sistema mejorado. Se observa claramente en la figura 7 que la etapa de uso sigue siendo al igual que en el sistema preliminar la que más contribuye a aumentar el impacto en todas las categorías.

La fase de transporte afecta especialmente a la categoría de eutrofización con 0,238 (EP) [kg Phosphate-Equiv.], representando un 9,4%. La fase de materiales está presente en todas las categorías, con casi un 10% en la categoría de Agotamiento Abiótico.

En la figura 8, apilando las fases por categorías de impacto, se observa que la categoría más afectada con gran diferencia es Calentamiento Global con un valor de 14036 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.]. La fase de descarte es la que menos impacto provoca en las diferentes categorías. Distinguiendo por fases del ciclo de vida, la fase de uso es la que más contribuye en esta categoría aportando 13044 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv], lo que equivale a una contribución del 92, 9% del total. El sistema frío contribuye a esta categoría con 483 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv] y el sistema de calor con 298, entre estos dos sistemas suman 781 que es la contribución de la fase de materiales a esta categoría (un 5,5%)

En la figura 9 se ven las cargas de cada uno de los componentes del nuevo sistema a las categorías de impacto, y se muestra como todos afectan especialmente a la categoría Calentamiento Global. En el sistema mejorado, el conjunto de cabina sigue siendo el componente cuya carga es mayor con 205 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.], seguido de la unidad PTC con 183 y el compresor con 177. Los demás componentes están por debajo de 50.

Figura 6. Caracterización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización, por fases apiladas, metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe



5. Comparación del sistema de climatización preliminar con el mejorado. CML 2001 Dec 07 Experts IKP / Southern (CARACTERIZACIÓN)

Como se ha analizado en los apartados de resultados, tanto en la caracterización como en la normalización, el mayor impacto se produce en la categoría, (para CML2001) de Calentamiento Global. En las figura 10 de caracterización, la categoría más desfavorecida resulta ser Calentamiento Global.

En la figura 11 puede observarse que disminuye el impacto del sistema mejorado en la fase de uso, de 15672 a 13044 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.] lo que representa una disminución del 16,2% en esta fase para la categoría analizada. Las fase de materiales del sistema frío pasa de 571 a 498 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.], mientras que la de calor sigue prácticamente igual entorno a 300 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.] El resultado total en esta categoría disminuye desde los 16716 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.] del sistema preliminar a 14036 (GWP 100 years) [kg CO₂-Equiv.] en el sistema mejorado, en total una mejora o disminución de impacto del 16%.

Figura 7. Caracterización del impacto, fases agrupadas, asociado al ciclo de vida del sistema de climatización. Metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe

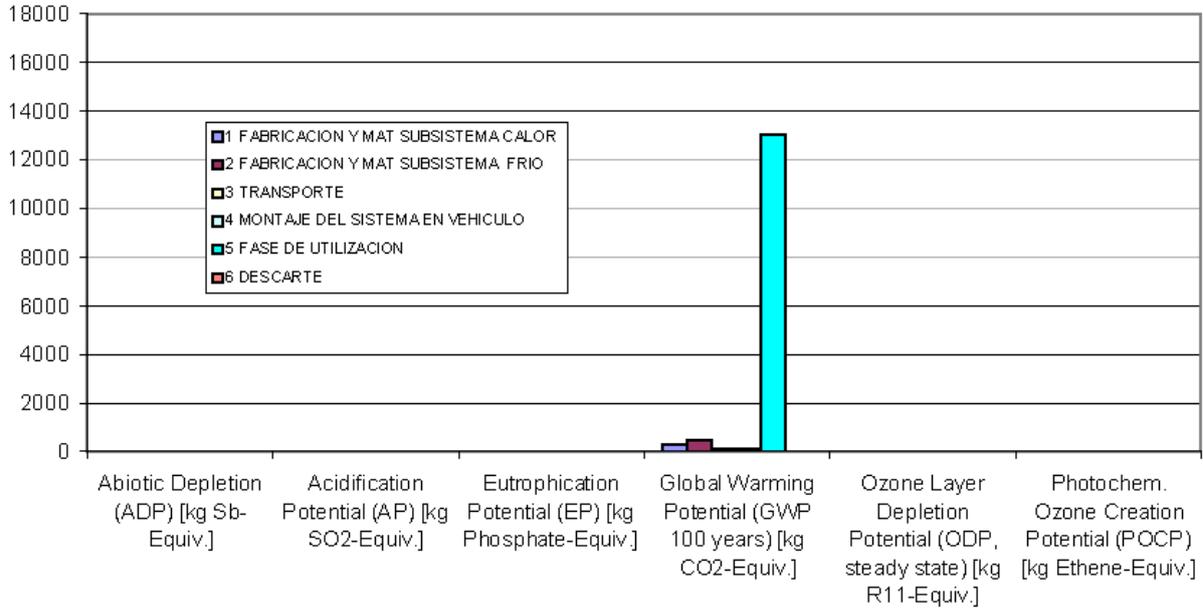


Figura 8. Caracterización del impacto, componentes del nuevo sistema agrupadas, metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe

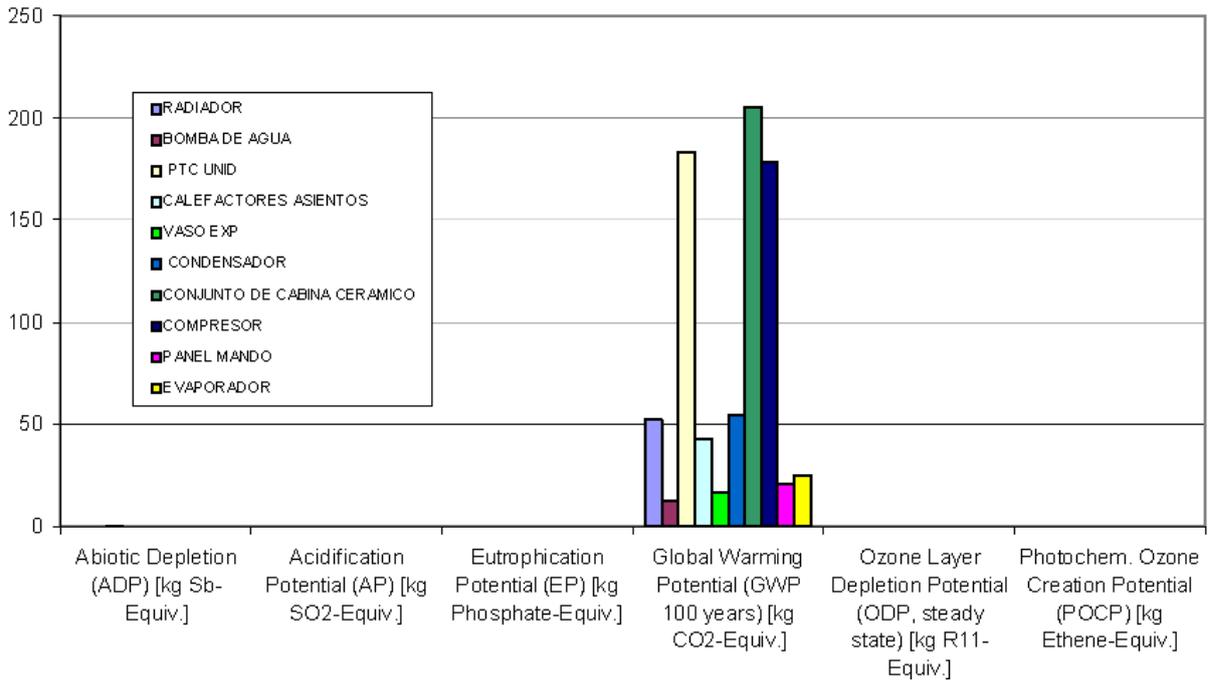
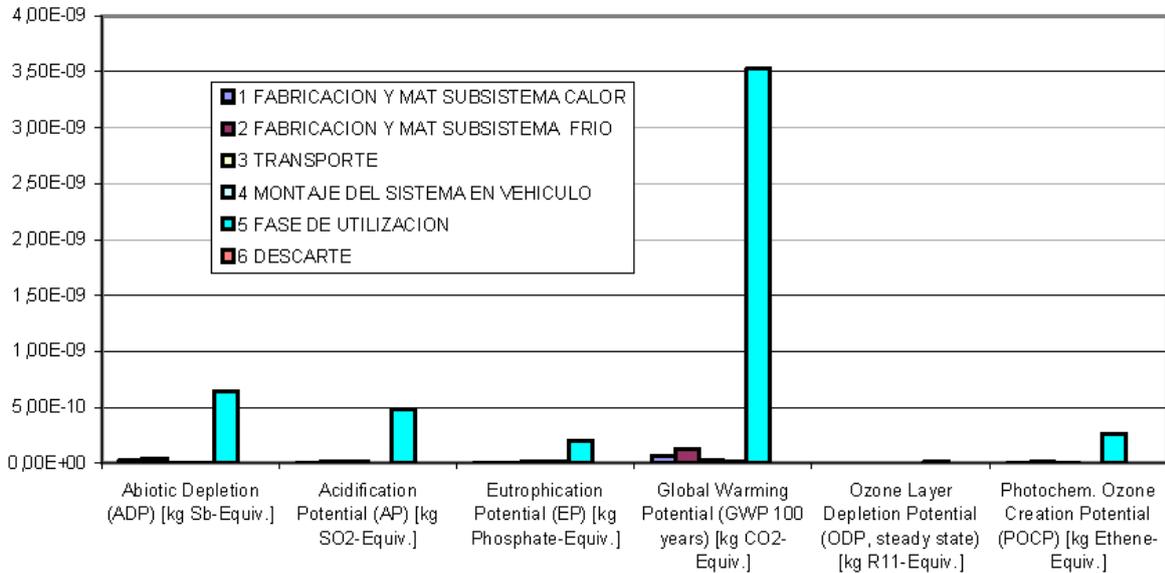
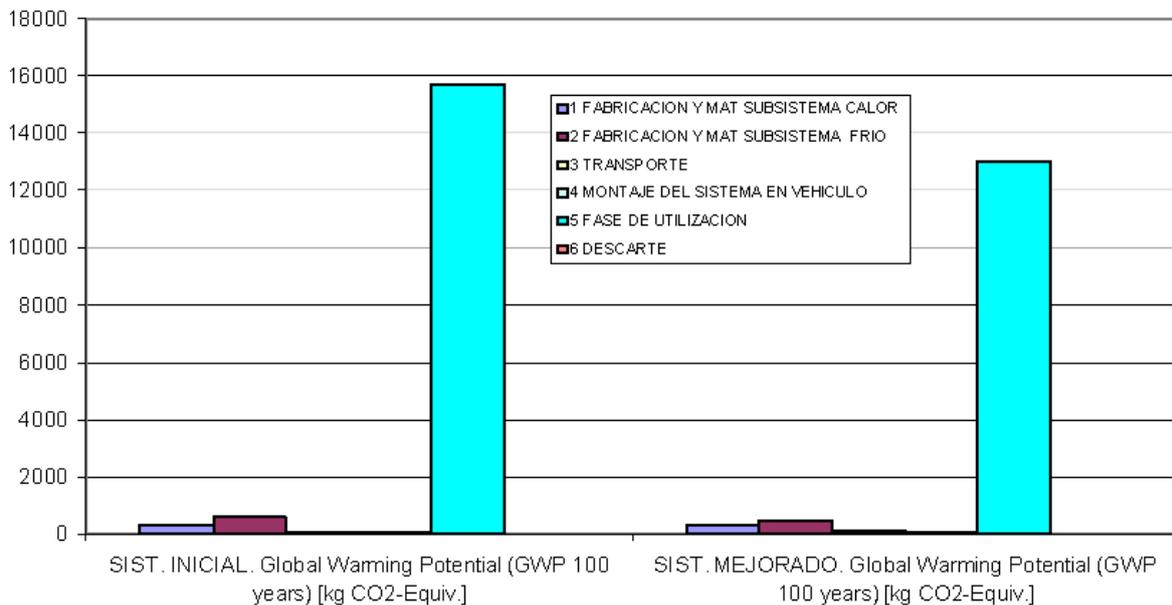


Figura 9. Normalización del impacto asociado al ciclo de vida del sistema de climatización, por fases agrupadas, metodología CML 2001 Dec07 Experts IKP / Southern Europe



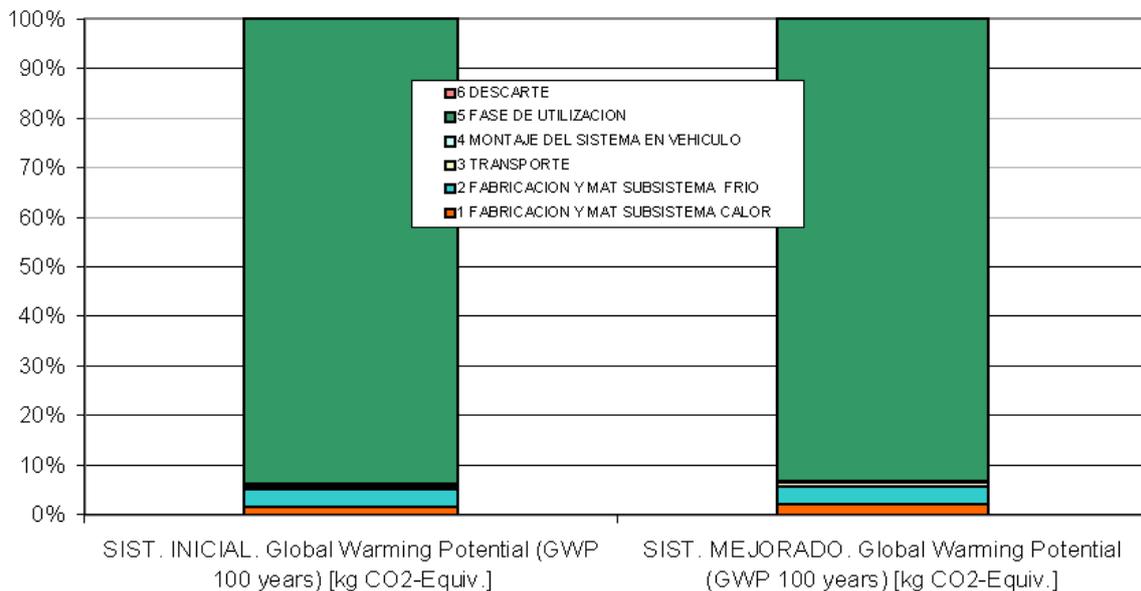
En otras categorías afectadas en menor manera, como Agotamiento Abiótico, la mejora del nuevo sistema es del 18,7% respecto del impacto en la fase de uso.

Figura 10. Comparación entre los sistemas de climatización preliminar y mejorado. Calentamiento Global. Metodología CML 2001 Dec 07 Experts IKP/ Southern Europe



Analizando la fase de transporte, resulta ser afectada negativamente por las modificaciones o mejoras del nuevo sistema de climatización. En el sistema preliminar la fase de transporte aportaba 96 (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.], el 0,5% del total del impacto. Mientras que en el sistema mejorado sube hasta 121(GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.], EL 0,08%, una subida porcentual de 3 décimas

Figura 11. Comparación entre los sistemas de climatización preliminar y mejorado. Fases apiladas. Calentamiento Global. Metodología CML 2001 Dec 07 Experts IKP/ Southern Europe



Analizando los componentes que han sido mejorados, figura 13, el conjunto de cabina y la unidad PTC, y siguiendo en la categoría de Calentamiento Global, según se muestra en la tabla 54, el conjunto de cabina pasa de 294(GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.], a 201 (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.], lo que representa un 31,6% menos de impacto. La unidad PTC preliminar pasa de 210 a 183(GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.], la mejorada, un 12,8% menos de impacto.

6. Conclusiones

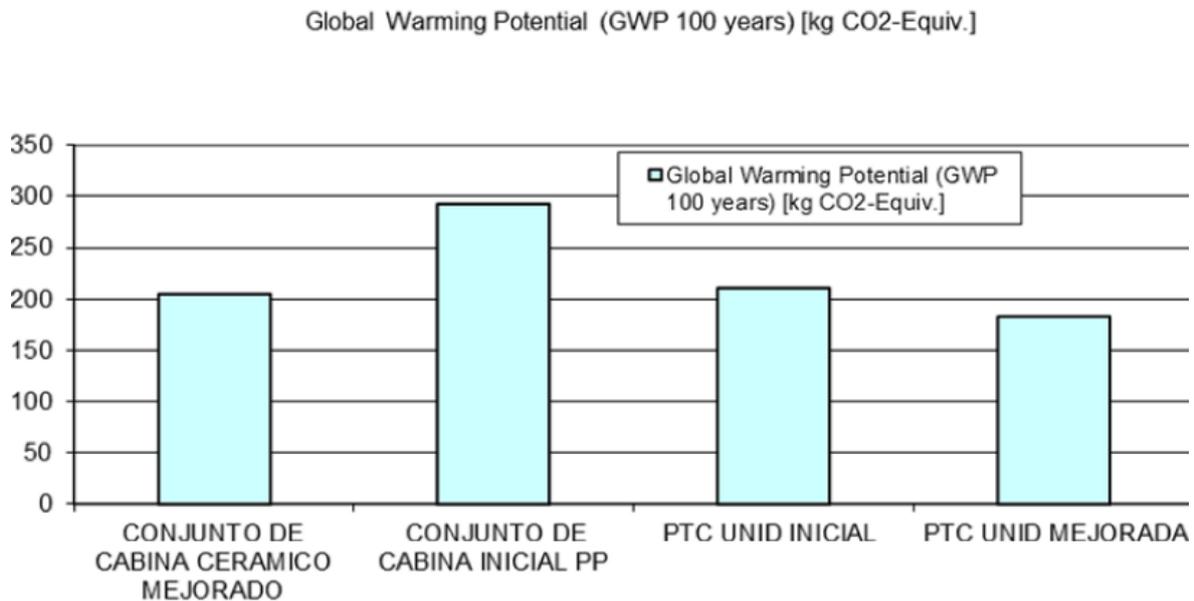
Según la metodología CML 2001, las mejoras del sistema nuevo respecto del inicial son evidentes. Las dos medidas que se propusieron como mejoras en el nuevo sistema fueron:

- 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 la metodología de impacto, también se reducen los impactos en todas las categorías. Para CML 2001 se reducen entre el 12% y el 18%, lo que indica el éxito o la disminución respecto del perjuicio o daño medioambiental de las mejoras introducidas. 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.

Figura 12. Comparación entre los sistemas preliminar y mejorado. Componentes modificados. Calentamiento Global. Metodología CML 2001 Dec 07 Experts IKP/ Southern Europe.



7. Bibliografía

- Arboix Barreto R (2008). Heating and cooling an electric vehicle. Master of Science Thesis, Stockholm, Sweden.
- Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Final Rulemaking to Establish Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards. Regulatory Impact Analysis. EPA-420-R-10-009. April 2010.
- Carlson, R. Matthew G. Shirk, B & Geller, M. (2010). Factors affecting the fuel consumption of plug-in hybrid electric vehicles. 25th World Battery, Hybrid and fuel cell electric vehicle symposium and exhibition, november 2010.
- Cooper, C. (2004), Reducing greenhouse gas emissions from light- Duty Motor Vehicles. Appendix D: Vehicle Air Conditioning. Northeast state center for a clean air future. September, 2004.
- Farrington, R. (2002) Impact of vehicle air conditioning on fuel economy, tailpipe emissions, and electric vehicle range, Preprint,. NREL/CP-540-28960. Earth Technologies, ForumWashington, D.C. October 31, 2000.
- Fischer, S. K. (1995) Comparison of global warming impacts of automobile airconditioning concepts. Presented at 1995 international CFC and halons alternative conference, Washington, D.C, 1995.
- Grupo de investigación del Convenio UIS – IDEAM. Balance de materia y energía del proceso de producción de cemento. Publicado en <http://www.tecnologiaslimpias.org/>
- Lon E. Bell (2008), Broader use of thermoelectric system in vehicles, Instituto BSST LLC.
- Metz B, Kuijpers, L. Solomon, S. Andersen S.O. Davidson, O. Pons J. Jager, D. Kestin, T. Manning, M. & Meyer, L. (2005). IPCC/TEAP Special report: Safeguarding the ozone layer and the global climate system. Chapter 6: Mobile air conditioning. Geneva, Switzerland, 2005
- Minnesota Pollution Control Agency (2012), Mobile air conditioner leakage rates, Report Form: (aq-mvp2-29a). Model year 2012 leakage rate list by manufacturer. State of Minnesota; August, 2011.

- Nissan Leaf service manual HVAC (2010), Ventilation, heater and air conditioner. Section HA heater and air conditioning system. revision: november 2010.
- Thoma, V.M. (2010). Appliance Energy use in america's second home – The automobile. Georgia Institute of Technology, 2010.
- Rijkeboer, R.C. Gense, N. & Vermeulen, R.J (2002). Options to integrate the use of mobile airconditioning systems and auxiliary heaters into the emission type approval test and the fuel consumption test for passenger cars (M1 vehicles). Final report. TNO report 02.OR.VM.074.1/NG, September 2002.
- Rugh, J (2010). Proposal for a vehicle level test procedure to measure air conditioning fuel use. National Renewable Energy Laboratory, SAE 2010 World Congress. Detroit, Michigan, April 13-15, 2010
- Sand, J. R. & Fischer, S. K. (1997) Total environmental warming impact (TEWI) calculations for alternative automotive air-conditioning systems. Presented at 1997 SAE International Congress, Detroit, Michigan, 1997.
- Schmitz, A. (2010). PTC Heater for electric vehicles and plug-in hybrid, Vehicles using water heat carrier product sustainability Index. ForS-MAX FordGalaxy Ford Europe. Germany. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 46 No. 4 (December 2010).
- Schmidt, W. Dahlqvist, E. Finkbeiner, M. Krinke, S. Lazzari, S. Oschmann, D. Pichon, S. & Thiel, C. (2004): Life cycle assessment of lightweight and end-of-life scenarios for Generic Compact Class Passenger Vehicles. Int J LCA 9 (6) 405–416
- Schweimer, G. W. Life cycle inventory for the golf A4. Research environment and transport, Volkswagen AG, Wolfsburg. Marcel Levin. Center of Environmental Systems Research, University of Kassel
- Sand, J. R. & Fischer, S. K. (1997) Total environmental warming impact (TEWI) calculations for alternative automotive air-conditioning systems. Presented at 1997 SAE International Congress, Detroit, Michigan, 1997.
- Weilenmann M.F (2010) Consumo de combustible y las emisiones de CO2 del aire acondicionado móvil a nivel de flota - nuevos datos y de comparación de modelo Ciencia de los Materiales y Tecnología, CH 8600 Dubendorf, Suiza Environ Sci. Technol44:5277-82.2010