

VALORACIÓN AMBIENTAL DEL USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN FLOTAS DE AUTOBUSES

Rocío Luiña Fernánde

Valeriano Álvarez Cabal

Francisco Ortega Fernández

Gemma Marta Martínez Huerta

Universidad de Oviedo

Abstract

Urban transport is being promoted as a tool to help improve air quality in cities and reducing energy consumption that causes chronic congestion, with numerous negative consequences human health and the environment. But nowadays local impacts can not be the base for a sustainable decision.

During de last 25 years, Spain has more than doubled the transport of passengers and freight, requiring a strategy adapted to urban transport. Currently there are on the market several engine options alternative to diesel combustion engine. The right choice will affect consumption and emissions throughout the life cycle of the vehicle, which represents most of the environmental impact.

The aim of this study is to compare, using Life Cycle Assessment methodology, technologies based on liquid fossil fuels (diesel, LPG, Natural Gas) with other newer technologies implementation (biofuels, hybrid, Fuel cell, electric), evaluating the adequacy, from the environmental point of view to introduce these technologies.

Key words: *Life Cycle Assessment; biogas renewable energy; urban public transport.*

Resumen

En el ámbito europeo, el transporte público urbano como transporte sostenible, está siendo impulsado como instrumento para contribuir a la mejora de la calidad del aire en las ciudades y a la reducción del consumo energético ya que provoca una congestión crónica, con numerosas consecuencias negativas tanto a la salud humana como al medio ambiente.

En España se ha más que duplicado el transporte de pasajeros y de mercancías en los últimos 25 años, siendo necesaria una estrategia adaptada a los transportes urbanos. Actualmente existen en el mercado diversas opciones de motorización alternativa al motor de combustión diesel. La elección adecuada repercutirá en los consumos y en las emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida del vehículo, lo que representa la mayor parte del impacto ambiental.

El objetivo de este estudio es comparar, mediante la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, las tecnologías basadas en combustibles líquidos de origen fósil (Diesel, GLP, Gas Natural) con otras tecnologías de implantación más reciente (biocombustibles, híbridos, Fuel cell, eléctrico), evaluando la conveniencia, desde el punto de vista ambiental de introducir dichas tecnologías.

Palabras clave: *Análisis de Ciclo de Vida; biogás; energías renovables; transporte público urbano.*

1. Introducción

El aumento del tráfico en los centros de las ciudades provoca una congestión crónica, con numerosas consecuencias negativas por la pérdida de tiempo y los daños al medio ambiente. Según el Libro Verde, la economía europea pierde cada año debido a este fenómeno en torno a cien mil millones de euros, lo que representa un 1 % del PIB comunitario.

Por otra parte, el Plan sobre el Clima del Consejo Europeo, adoptado el 8 y 9 de marzo de 2007, fija como objetivos la reducción de un 20% del consumo de energía, del 20% de ahorro de energías fósiles y del 20% de suministro de energías renovables en 2020.

En España, según el Ministerio de Fomento (2007), en los últimos 25 años se ha más que duplicado el transporte de pasajeros y de mercancías. Así mismo, el consumo de energía final del sector transporte supone el 40% del total de nuestro país con una dependencia de los productos derivados del petróleo del 98%. Se calcula además que un 50% del total de las emisiones de CO₂ del sector transporte fueron realizadas en el entorno urbano.

En este marco, resulta evidente el interés mostrado por la mejora del transporte urbano colectivo, dadas las ventajas en cuanto a gestión de la movilidad y sostenibilidad, y la elección de los elementos más adecuados para realizar dicho transporte.

En la actualidad están disponibles en el mercado diversas opciones de motorización alternativa al motor de combustión diesel. La elección adecuada repercutirá en los consumos y en las emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida del vehículo, lo que representa la mayor parte del impacto ambiental del uso del vehículo.

2. Objetivos y alcance

El objetivo de este estudio es realizar un Análisis de Ciclo de Vida comparativo del impacto producido por diversos sistemas de transporte colectivo mediante autobús urbano. Se pretende comparar las tecnologías basadas en combustibles líquidos de origen fósil con otras tecnologías de implantación más reciente, evaluando la conveniencia, desde el punto de vista ambiental de introducir dichas tecnologías.

Específicamente se evaluarán las siguientes alternativas:

- Motorización Diesel utilizando gasoil obtenido a partir de petróleo
- Motorización Térmica utilizando biocombustibles
- Térmico de gas licuado de petróleo
- Híbrido Térmico – Eléctrico
- Hidrógeno con célula de combustible

El estudio se realizará para condiciones de uso en una ciudad de tráfico pesado y velocidad media de 10-15 Km/h.

3. Metodología utilizada

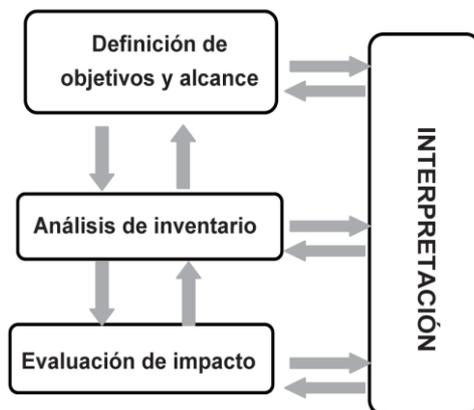
Para realizar este estudio se va a utilizar la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que es definida por la norma UNE-EN ISO 14.040 como: “una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto proceso, o actividad mediante: la recolección de un inventario de las entradas y salidas relevantes de un sistema; la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con esas entradas y salidas; y la interpretación de los

resultados de las fases de análisis y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio” (AENOR 2006).

Como se deduce de la definición utilizada, el ACV es una herramienta que se puede emplear para evaluar las cargas de tipo ambiental asociadas a un producto teniendo en cuenta su ciclo completo. En este caso permitirá realizar una comparativa entre dos formas de realizar un mismo suministro considerando todas las etapas implicadas en cada una de las opciones.

El ACV se compone de una serie de etapas interrelacionadas entre ellas, tal como se muestran en la figura siguiente:

Figura 1: Etapas en la realización de un ACV



Los datos para el Inventario del ciclo de vida (ICV) se extraen de bases de datos, principalmente deEcoinvent, ETH-ESU e Idemat 2001. La electricidad utilizada en los procesos se ha adaptado al mix español reflejado en el informe de Junio de 2010 de la red hidroeléctrica de España. Para tenerlo en cuenta se construye un nuevo proceso basado en datos de Ecoinvent correspondientes a cada fuente de energía y en reparto del mercado español del año 2010.

4. Definición del análisis a realizar

Se corresponde con la primera etapa de la metodología ACV seguida. Es fundamental determinar de forma coherente los límites del sistema y las directrices para recoger y evaluar los datos.

En este caso quedarán fuera de los límites del sistema las instalaciones y las infraestructuras por tratarse de una comparativa y ser los mismos en cada uno de los diferentes tipos de motorización.

En los estudios comparativos de autobuses como Total Environmet Centre Inc (2005) y Ally, J. (2006) y en comparativas para automóviles como las realizadas en Sthefan et al. (2006) y Laver, L. et al (2000), entre otros, se utilizan una unidad de distancia como unidad funcional, mayoritariamente el kilómetro. Por ello se decide utilizar como unidad funcional “los 1.000 (mil) kilómetros de utilización de un autobús de 12 metros con capacidad para, al menos, 45 pasajeros, en líneas no dotadas de carril bus, con frecuentes paradas en tráfico denso y estructura urbana compleja”.

Se supone que los autobuses se utilizan exclusivamente para el servicio de líneas urbanas, por lo que no aparece problema de asignación en su uso (Institute for Environment and Sustainability European Comission, 2010).

Aunque la vida útil de un autobús puede llegar fácilmente a 15 años, en la actualidad la vida media de las flotas es inferior y se actualiza la motorización para adaptarlos al

menos a la normativa Euro III. Por ello, no se considerarán datos de consumo o emisiones anteriores al año 2003 (Chester, M.,2008), (Ally, J., 2006).

Se supondrá que las emisiones producidas y los consumos son valores fijos a lo largo de toda la vida del autobús, esto es, 45.000 Km al año durante 12 años (Total Environmet Centre Inc, 2005).

5. Inventario del Ciclo de Vida

En cada apartado del ciclo de vida se realiza una descripción de los datos obtenidos y se concluye con los resultados que serán utilizados para modelizar y realizar el análisis.

5.1. Fabricación del autobús

Es posible considerar un mismo autobús tanto para Diesel, Biodiesel, Híbrido, FuelCell y CNG. La base puede ser un autobús Diesel al que se le elimina el tanque y el motor diesel y se le introducen los elementos Fuel Cell que incrementan su peso respecto a un Diesel o a un CNG, lo que supone de disminución de la capacidad de pasajeros. Sobre un chasis de acero junto con un sistema de dirección, suspensión y frenos se montan el sistema Fuel Cell, el motor eléctrico y los depósitos de hidrógeno. Se toma como ejemplo el Mercedes Citaro CNG, que fue el utilizado como referencia en el proyecto europeo Biogasmax, y es el más utilizado en Europa. Sus características se describen a continuación:

Tabla 1: Características de los autobuses Citaro (Fischer, M., et al. 2005)

	Diesel Euro 3	CNG	Fuel Cell
Altura	3 m	3,5 m	3,5 m
Longitud	11,95 m	11,95 m	11,95 m
Motor	6 cil en línea	12 cil en línea	Motor eléctrico
Potencia	205 KW	185 KW	220 KW

5.2. Combustibles

Los datos del ciclo de vida de cada combustible se extrajeron de la base de datos ECOINVENT escogiéndolos con los siguientes criterios:

- El diesel se corresponde con datos genéricos europeos, dado que es difícil predecir la procedencia exacta el petróleo y donde ha sido refinado.
- El gas natural se corresponde con datos adaptados al entorno español.
- Los gases licuados de petróleo se consideran como un subproducto del ciclo del petróleo ya incorporado en el ciclo del gasoil.
- Los combustibles B10 y B30 se generan mezclando gasoil con las proporciones adecuadas de biodiesel, siendo este extraído un 50% de colza y un 50% del reciclado de aceites usados.
- El etanol E95 se supone obtenido a partir de maíz cultivado en Europa.
- El GNC sintético se obtiene a partir de la gasificación de madera para obtener gas de síntesis que posteriormente es tratado para extraer metano al 96%
- El GNC biometano parte de biogás obtenido de digestores de residuos orgánicos, siendo posteriormente reformado mediante separación criogénica.

- El Hidrógeno se puede producir por 3 métodos distintos, que son evaluados de forma independiente. Los consumos energéticos en cada uno de los procesos son modelizados de acuerdo a las características del mix energético español.

5.3. Consumos

El consumo se ve influido por factores propios de la ruta como el número de paradas y la pendiente superada en los consumos. Por ello se intentarán utilizar datos promedio de consumo de ciudades con condicionantes de tráfico y pendientes similares.

A. Diesel

Aunque la motorización diesel es indudablemente la más utilizada en los autobuses urbanos, es difícil establecer una cifra promedio de consumo dada la diversidad de situaciones de uso, de fabricantes y de variantes tecnológicas. Las pruebas de consumo realizadas en flotas como las de Barcelona y Madrid, aportan los siguientes consumos medios (Armengol, J., 2009), (Terron, J. A., 2009).

- Caso A.1 Emisiones Euro 3 o inferiores y un consumo de 490 l/1000Km.
- Caso A.2 Emisiones Euro 4 y un consumo de 520 l/1000Km (obtenido suponiendo una carga extra de 2000 Kg en el autobús sobre los datos de análisis de VTT para considerar el efecto de las pendientes, la mayor carga de pasajeros y la menor velocidad comercial
- Caso A.3 Emisiones Euro 5 y consumo de 530l/1000 Km

Para el caso A2 y A3 se incluirá un consumo promedio de 15 litros de urea por 1000 Km.

B. Biocombustible

El consumo de biodiesel es algo superior al consumo de gasoil, debido a su menor Poder Calorífico. Es decir, a medida que aumentamos el porcentaje de biodiesel en la mezcla, aumenta el consumo. De las pruebas realizadas por el Consorcio de Transportes de Andalucía, Tussam y EMT se obtienen los siguientes promedios:

- B.1 Biodiesel B10 con emisiones Euro 4 con un consumo de 550l/1000Km
- B.2 Biodiesel B30 con emisiones Euro 4 con un consumo de 560 l/1000Km
- B.3 Etanol 95 con un consumo de 1000 l/1000Km

C. GLP

De acuerdo con los datos ofrecidos por Repsol, un autobús consume entre 25 a 35 toneladas de GLP para realizar un ciclo anual, que estima en 58.000 km. Estas cifras varían en función de la tecnología, el recorrido y el tipo de conducción. Esto supone un consumo entre 431 y 603 kg/1000Km. Dado que es una estimación realizada por una parte interesada y que no se disponen de prueba en flotas representativas, se escoge el valor más conservador, suponiendo un consumo de 580 Kg/1000Km

D. Gas natural comprimido (GNC)

Es un sistema más ineficiente desde el punto de vista térmico. El sistema de llenado del autobús es más lento, y si se hace más rápido implica una compresión con uso de energía. De los estudios realizados en Barcelona y Madrid, se utilizará como valor representativo de consumo de un autobús GNC con emisiones EEV el valor de 740 Nm³/1000Km. (Se considerará una densidad del gas natural de 0,6 Kg/Nm³)

E. Híbrido

En Barcelona, TMB utiliza autobuses híbridos de la marca MAN con una reducción de consumo de entre el 20 y el 30%. Esta reducción de consumos es inferior a la reflejada en estudios de origen americano, pero se ha de admitir el menor esfuerzo de optimización de las mecánicas diesel en dicho ámbito debido al relativamente bajo precio de combustible. Por ello, se decide utilizar el dato basado en las pruebas realizadas en Barcelona y considerar un consumo de 364 l/1000Km.

F. Fuel-Cell

El consumo por kilómetro del autobús Fuel Cell es mayor que el de un Diesel. Esta diferencia de consumo se debe al incremento de peso y a la limitación de corriente que supone el sistema Fuel Cell, siendo menos eficiente a velocidades bajas.

El consumo de combustible variará en función de la temperatura ambiente. Así, será mayor fuera del intervalo 0-18°C debido a una demanda de aproximadamente 50 kg H₂/1000km por parte del aire acondicionado de la cabina.

A partir del estudio de Fischer, M. (2005), incluido dentro del proyecto europeo ECTOS, del proyecto CUTE en Barcelona y de las pruebas realizadas en Madrid en verano, se decide considerar el consumo promedio de 270 Kg H₂/1000Km, que se corresponde a un uso promediado verano-invierno en el rango de los consumos observados en las ciudades que participaron en el proyecto CUTE.

5.4. Mantenimiento

Las operaciones de mantenimiento que se realizan a los autobuses durante su vida útil son muchas y muy variadas. La mayoría de ellas se realizan independientemente de su motorización y otras, en cambio, son específicas de cada sistema.

Tabla 2: Costes de mantenimiento en función de la motorización (Armengol, J., 2009)

Mantenimiento (coste en € por km)	
Diesel	0,18
Biodiesel 10	0,18
GNC	0,225
Hibrido	0,18
FuelCell	7

5.5. Emisiones

Estimar las emisiones reales de un autobús en su vida útil es extremadamente complejo, incluso obviando la degradación que el propio uso va a producir en las condiciones iniciales.

En función de todos los estudios analizados (Van Ling, J., & Van Helden, 2003), (Nylund, N., et al., 2007), (Nylund, N., 2004), (Albahari, A., 2008), (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, 2009) y de los resultados obtenidos del proyecto ECTOS, se llega a los siguientes valores:

Tabla 3: resumen de los valores de emisiones considerados

	CO	NO_x	PM	CH₄	HC
A.1	7	11,7	0,25	0	1

	CO	NO _x	PM	CH ₄	HC
A.2	5,2	9,1	0,17	0	0,8
A.3	4	5,2	0,02	0	0,8
C.2	4	2,5	0,01	0,1	0,1
B.1 B10 Euro 4	3,5	4,5	0,03		
B.2 B30 Euro4	3	4	0,02		
B.3 E95	0,6	2,9	0,01		
C.1 GLP	0,4	2,5	0,01		
C.2 CNG	4	2,5	0,01	0,1	0,1
D. Híbrido	0,7	6,3	0,02		
E Fuel Cell	0	0	0	0	

6. Análisis del Impacto del Ciclo de Vida

6.1. Métodos

De entre todos los métodos disponibles se han seleccionado los que mejor se adaptan a las características de este estudio:

- Ecoindicador 99, es el más difundido y ofrece resultados en efectos sobre la salud de las personas, la calidad de los ecosistemas y el consumo de recursos.
- IPCC 2007, importante en este caso ya que analiza el efecto sobre el cambio climático de acuerdo con las directrices emitidas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático

6.2. Elementos de análisis

Los casos considerados son los siguientes:

Tabla 4: Casos considerados en el LCIA

	Combustible	Procedencia	Emisiones	Fabricación autobús
A.1	Diesel	Fósil	Euro3	Diesel
A.2	Diesel	Fósil	Euro4	Diesel
A.3	Diesel	Fósil	Euro5	Diesel
B.1	B10	Fósil, Colza y Reutilizado		Diesel
B.2	B30	Fósil, Colza y		Diesel

	Combustible	Procedencia	Emisiones	Fabricación autobús
		Reutilizado		
B.3	E95	Maíz		Diesel
C.1	GLP	Fósil		Gas
C.2.1	CNG	Fósil		Gas
C.2.2	CNG Bio	Biogas a partir de madera (gasificación)		Gas
C.2.3	CNG Sinte	Gas natural sintético (digestores)	Gas
D.	Hibrido			Híbrido
E.1	H2	Crackeado		Fuel Cell
E.2	H2	Electrolisis		Fuel Cell
E.3	H2	Reformado		Fuel Cell

6.3. Resultados

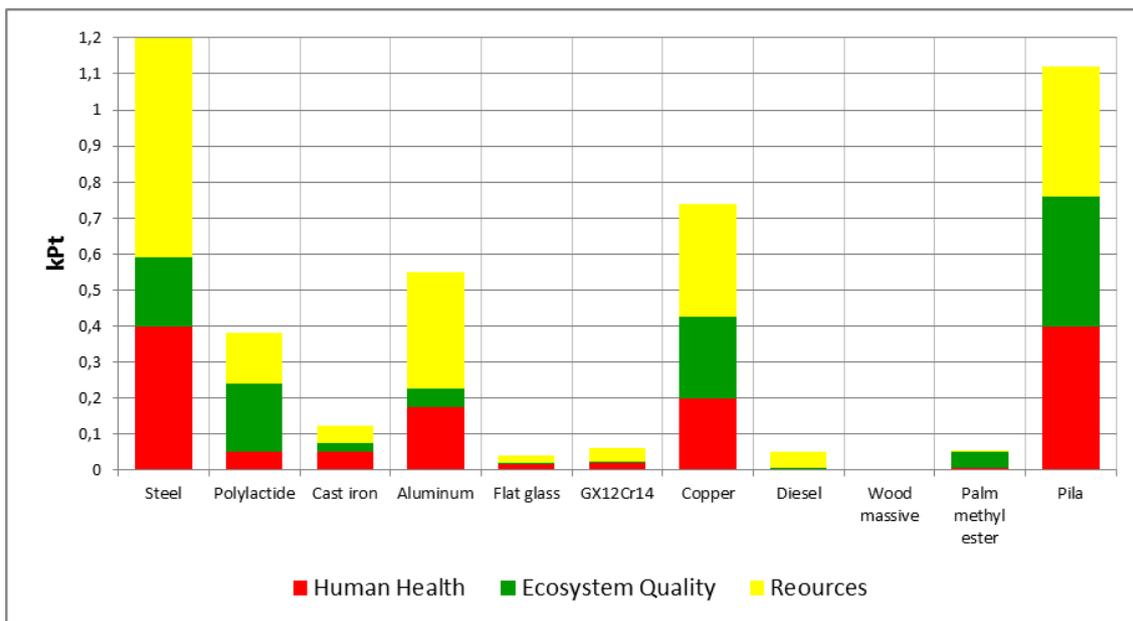
A. Fabricación

En esta etapa sólo se tienen en cuenta los impactos producidos por los materiales utilizados. Esto se traduce en que la categoría con mayor valor de impacto es la de recursos. Los efectos principales se deben al acero, aluminio y cobre necesario y su efecto sobre respirables inorgánicos es muy elevado, igualando en ponderación al efecto de consumo de recursos minerales.

El autobús de Gas Natural cuenta con la incorporación de un depósito de fibra de carbono necesario para el gas natural y modificaciones en la motorización y transmisión que incrementa de forma muy importante el efecto en cuanto a uso de combustibles fósiles.

El autobús híbrido se considera como una base de autobús diesel más un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, la electrónica de potencia y el motor eléctrico. De todos los componentes a añadir el que tiene un mayor peso y se presupone un mayor impacto es la batería.

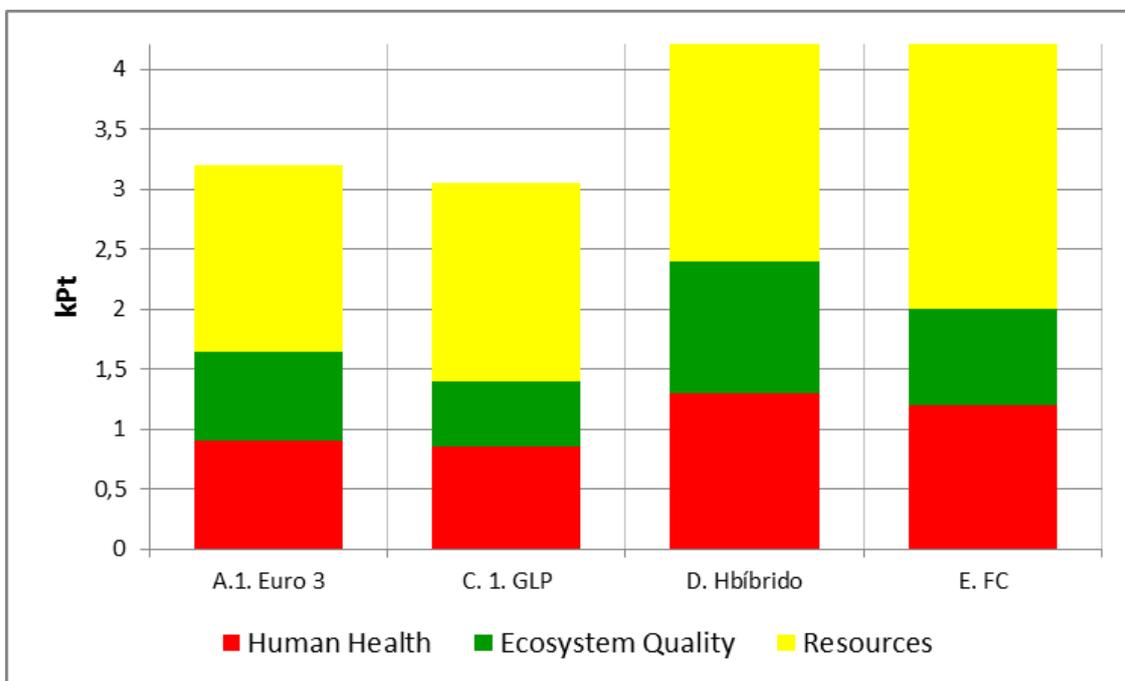
Figura 2: Categorías impacto Ecoindicador 99 de la fabricación del autobús Híbrido separadas por elementos



El autobús con motorización Fuel Cell es el más diferente en su construcción por todos los elementos necesarios para la pila de combustible y la fibra de carbono necesaria para los depósitos de H₂. La energía consumida para obtener los materiales necesarios es muy grande por su alto contenido en aluminio y fibra de vidrio.

La Figura 3 permite comparar los impactos de la fabricación de cada tipo de autobús para concluir que tanto el autobús híbrido y como el Fuel Cell tienen unos impactos superiores en casi un 30% respecto al autobús diesel tradicional y al autobús GNC.

Figura 3: Comparativa Puntuación única Ecoindicador 99 Fabricación autobús



B. Consumos

En el caso de los autobuses con motorización diesel (A1, A2, y A3) y como cabe esperar, las categorías más relevantes para todos ellos son el consumo de recursos y los respirables inorgánicos que afectan a la salud humana.

En los casos correspondientes a los biocombustibles (B1, B2, B3) se produce un fuerte impacto por el uso de terreno que afecta a la calidad de los ecosistemas, muy penalizado por el E99.

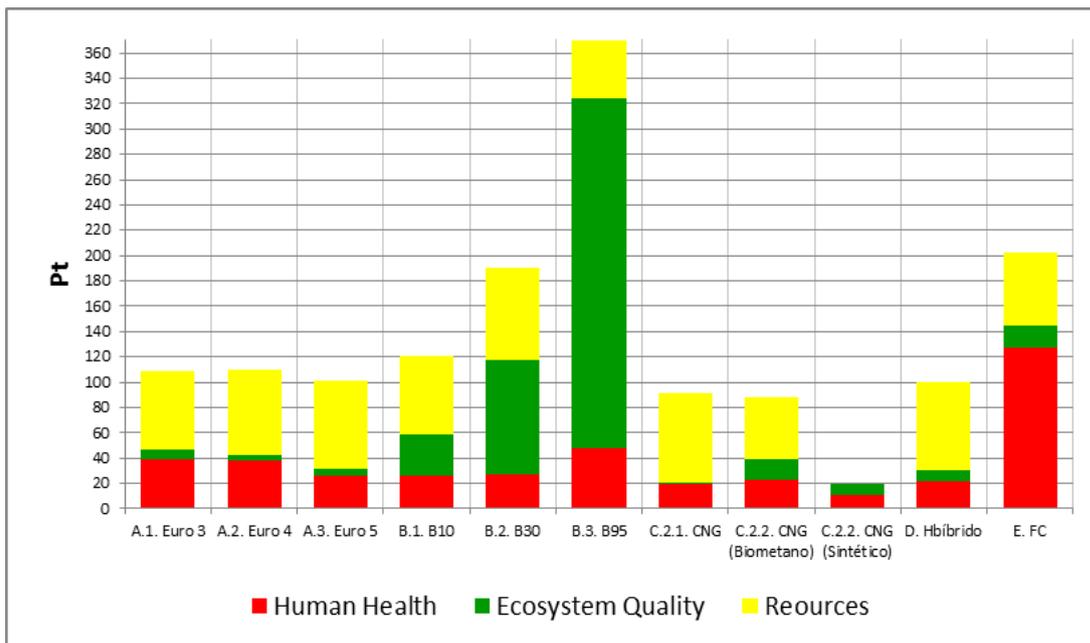
El GLP tiene un comportamiento similar al de los otros combustibles de origen fósil, como el diesel pero minorado por el hecho de que parte se origina como subproducto.

En los autobuses propulsados por GNC, el mayor impacto se debe al uso de recursos y cambio climático. Sin embargo, en el caso del Biometano, el efecto sobre el cambio climático es prácticamente neutro, aunque tiene un efecto relevante sobre los recursos debido al consumo de energía invertida en el reformado. El menor impacto se da en el Gas Sintético (gasificación a partir de restos de madera) por ser menos exigente energéticamente que el proceso del biometano.

El impacto del autobús híbrido radica principalmente en el consumo de combustibles fósiles, aunque en menor medida que en los caso A.x.

En el caso del hidrógeno, lo mayores impactos radican en la salud humana y en los recursos, ya que, a pesar de que las emisiones de un Fuel Cell son nulas, la producción de H₂ requiere de un fuerte consumo de energía y recursos.

Figura 4: Comparativa entre los consumos en todos los casos Ecoindicador 99

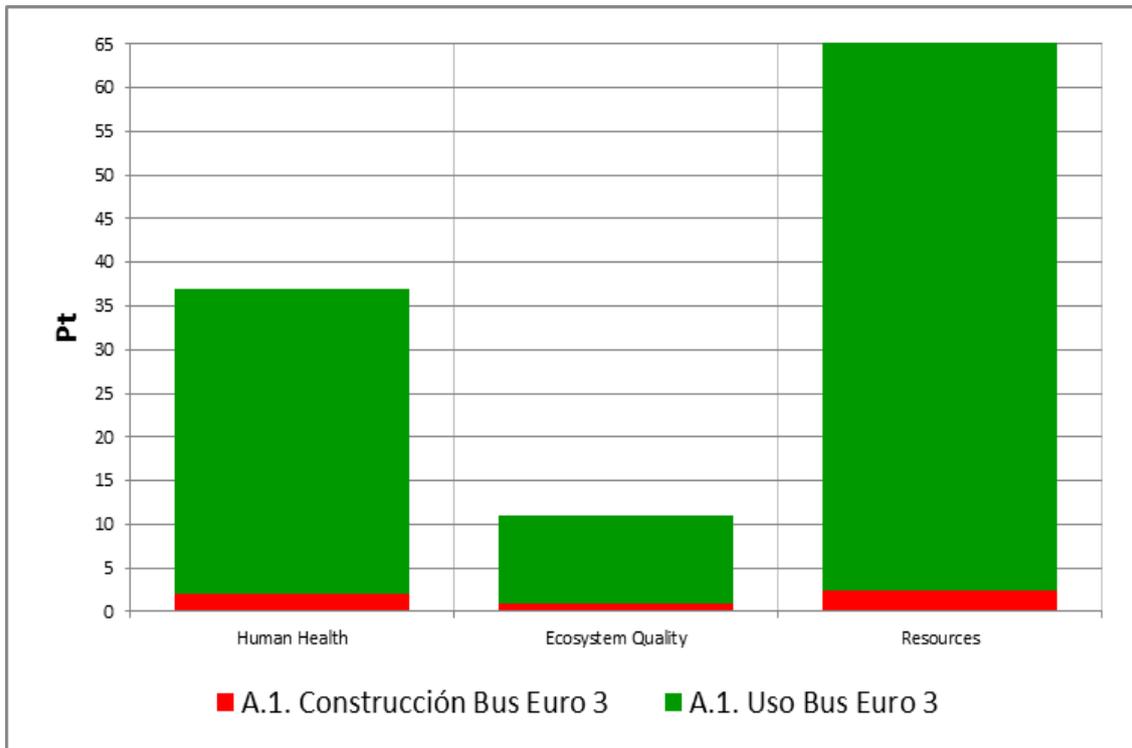


C. Evaluación del ciclo completo

A continuación se muestran los resultados del Análisis del Ciclo de Vida de un autobús con 12 años de vida útil y 45.000 km recorridos, teniendo en cuenta fabricación, consumo, emisiones y mantenimiento.

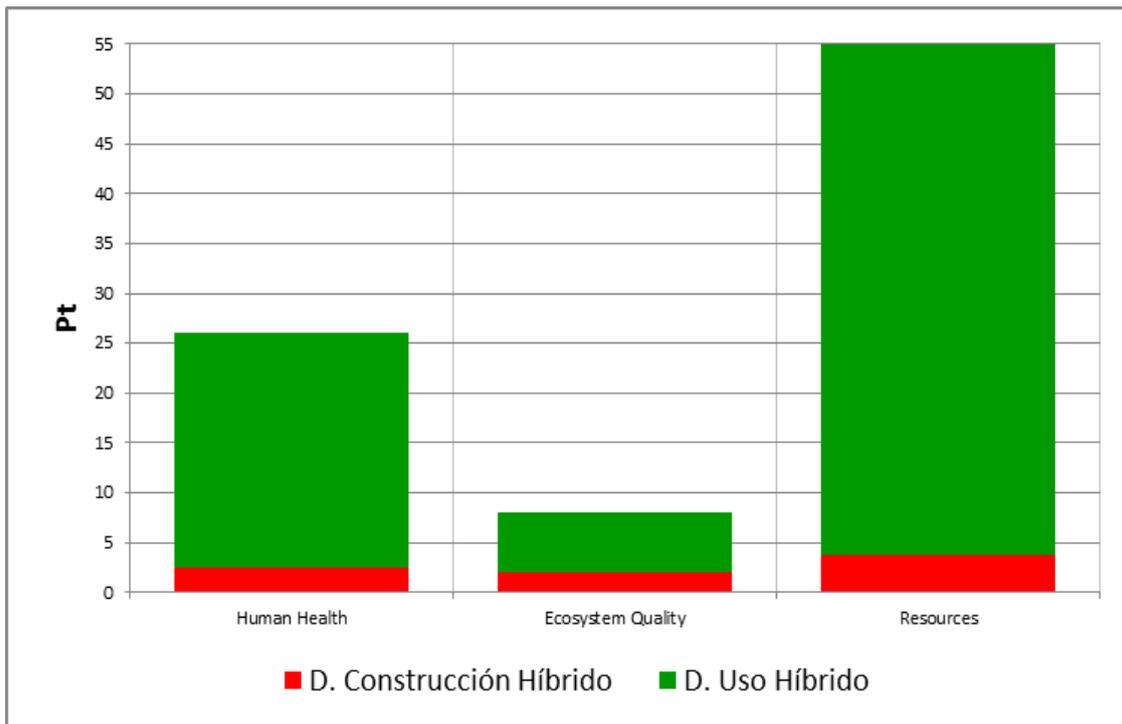
La Figura 5 muestra el ciclo de vida de los casos A.x (se utiliza como ejemplo el caso A.1). Separando los efectos de la fabricación (mostrados en rojo) frente a los de uso (consumo, mantenimiento, mostrados en verde) se puede observar la escasa relevancia del proceso de fabricación. Este efecto se mantiene en todos los casos estudiados.

Figura 5: Puntuación única Ecoindicador 99 Ciclo completo



Sin embargo, en CNG, Fuel Cell e híbrido gana cierta importancia la etapa de fabricación. En el caso del híbrido y del Fuel Cell se debe a que la fabricación supone un importante consumo de recursos, mientras que para el autobús CNG la clave está en la forma de obtención del gas.

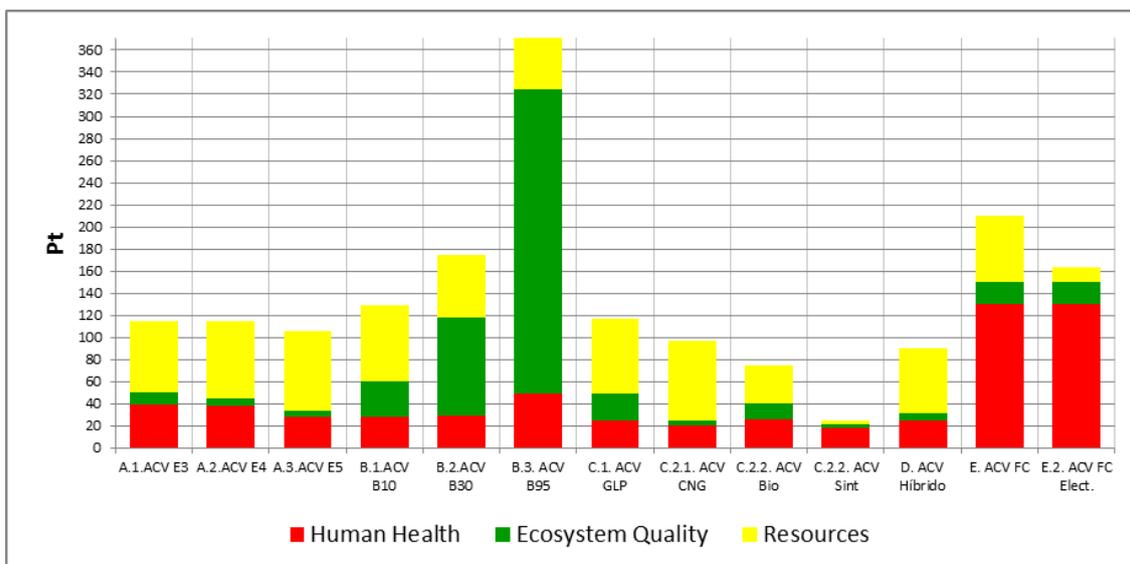
Figura 6: Puntuación única Ecoindicador 99 Ciclo completo Híbrido



El análisis de impacto de forma global y mediante la comparación de los distintos métodos permite tener una visión más amplia y objetiva del punto donde radica el impacto.

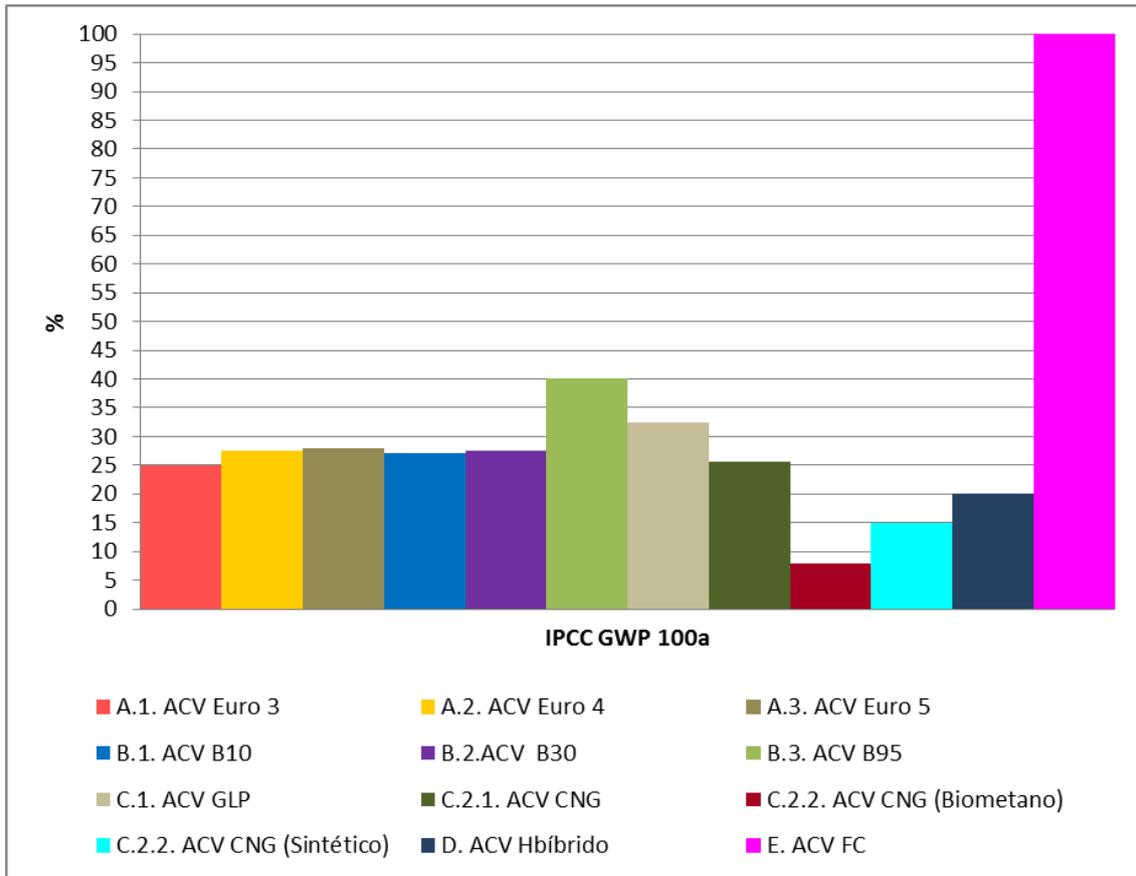
La comparación en función de los resultados de Ecoindicador 99 refleja que el autobús que produce menos impacto global es el autobús CNG. Este impacto aun disminuye si el gas natural, en todo o en parte, no es de origen sintético.

Figura 7: Puntuación única Ecoindicador 99 Comparativa Final3



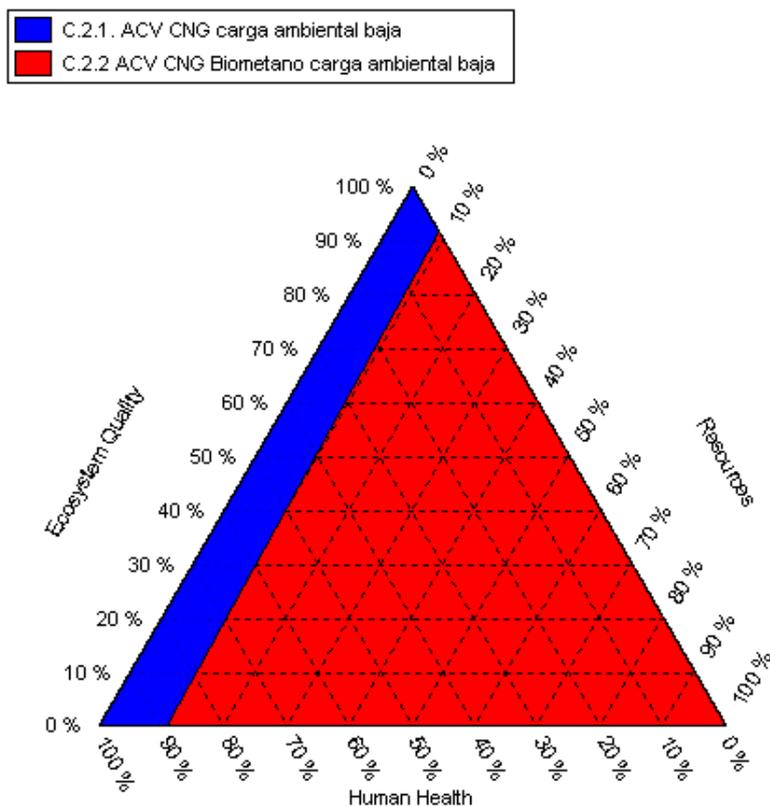
Centrándose en los gases de efecto invernadero y en el cambio climático, se ha aplicado el método propuesto por el IPCC (*International Panel on Climate Change*) obteniéndose la Figura 8. Utilizando este único criterio, la motorización más conveniente sería la GLP, aunque la diferencia con los GNC no es muy grande.

Figura 8: Comparativa IPCC100 Final Total



Mediante la comparación del impacto entre GNC y Biometano, se deduce que éste último es siempre más conveniente y que sería necesario rebajar la importancia otorgada a los recursos por debajo del 10% para equilibrar la comparación.

Figura 9: Mitrix entre GNC y Biometano



7. Conclusiones

De los resultados del trabajo se puede concluir que, a la hora de establecer una flota de autobuses, fundamentalmente de uso urbano, se debe considerar que:

- La fase de uso es la que provoca mayor impacto en el Análisis del Ciclo de Vida.
- La idoneidad del hidrógeno como combustible dependerá de la forma de producción, haciendo que sea medioambientalmente más rentable cuanto más se base en energías renovables.
- El uso de terreno supone una afección altamente considerada que penaliza de forma brutal al consumo de etanol. A ello se suma el importe consumo debido al menor poder calorífico del combustible.
- El mismo efecto de uso de tierra penaliza a los autobuses que consumen biodiesel. Cuanto mayor es el uso de tierra tanto mayor es el impacto.
- Los impactos menores se tienen con energías alternativas que no implican altas ocupaciones de terreno, como en los casos de SNG y del biometano (ambos obtenidos a partir de residuos).

Evidentemente además de los factores económicos existen otros factores no considerados como la disponibilidad del combustible. Por ello esta posibilidad se debe considerar para flotas de pequeño recorrido en las que se pueden establecer punto de reposición propios y, en todo caso, combinados con técnicas de generación local como

puntos combinados de suministro en los que se produce biogás a partir de residuos cercanos o recargas eléctricas procedentes de fuentes propias renovables.

8. Referencias

- AENOR, 2006. ISO14040 Gestión Ambiental. Analisis del Ciclo de Vida. Principios y Marco de referencia. ISO14044 Gestión Ambiental. Analisis del Ciclo de Vida. Requerimientos.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), 2009. Road Map for Second-Generation Biofuels.
- Albahari, A., 2008. El modelo Malaga Biodiesel. Málaga, Spain.
- Ally, J., 2006. Life Cycle Assesment of the diesel, natural gas and hydrogen bus transportation systems in Western Australia". Research Institute for Sustainable Energy. Murdoch University. Perth. Australia.
- Armengol, J., 2009. La experiencia de TMB en la utilización de combustibles alternativos.
- Chester, M.,2008. Environmental life cycle assesment of passenger transport. Thesis of the University of Berkeley.
- Fischer, M., Faltenbacher, M., & Schuller, O, 2005. Life Cycle Impact Assesment. ECTOS, Ecological City Transport System.University of Stuttgart.
- Institute for Environment and Sustainability European Comission, 2010. ILCD handbook. Ispra. Italia.
- Laver, L., MacLean, H., Hendrickson, C., & Lankey, R. 2000 Life-Cycle Analysis of alternative. environmental science technology. *Environment Science Technology*, 34, pp 3598-3605.
- Ministerio de Fomento, 2007. Directrices para la actuación en medio urbano y metropolitano.Madrid.
- Nylund, N., Erkkilä, K. & Hartikka, T., 2007. Fuel consumption and exhaust emissions of urban buses. VTT Research Notes.
- Nylund, N., Erkkilä, K., Lappi, M., & Ikonen M., 2004. Transit Bus Emission Study: comparision of emissions from diesel and natural gas buses. VTT .Helsinki. Finlandia.
- Sthefan, Auer & Haulio,Mikko L., 2006. Ethanol vs biogas used as car fuels. Institute of Environmental Research Strategies, KTH. Estocolmo. Suecia.
- Terron, J. A., 2009. Uso de vehículos y combustibles alternativos. La experiencia de la EMT. Valladolid.
- Total Environmet Centre Inc, 2005. Diesel vs compressed gas natural in the Sidney bus fleet. Sidney.
- Van Ling, J., & Van Helden, R., 2003. Comparison of particle size distribution and emissions from heavy-duty diesel engines and gas engines for urban buses. Transport and air pollution. 12 th Symposium. Avignon.