



DICIEMBRE 2014

Relevamiento de Tecnologías en los diferentes modos y fuentes a nivel internacional como alternativa al sector transporte en Uruguay. Análisis y perspectivas de Tendencias de mercado a nivel internacional. PRODUCTO I



Ardanuy

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. OBJETO Y ALCANCE.....	1
1.1. Marco del Estudio	1
1.2. Objeto del Informe	1
1.3. Alcance y aspectos metodológicos del estudio	1
2. INTRODUCCIÓN. DATOS DE PARTIDA DEL SECTOR ENERGÉTICO Y DEL TRANSPORTE	2
2.1. Consumo de energía en el sector transporte	2
2.1.1. Aspectos generales	2
2.1.2. Flujos de energía	5
2.1.3. Sistemas de propulsión por modos.....	7
2.1.4. Rendimientos energéticos en el transporte	8
2.1.5. Efectos negativos del consumo de energía en el transporte.....	9
2.1.6. Tendencias del consumo de energía en el transporte	12
2.2. Sector energético y del transporte en Uruguay	13
2.2.1. Aspectos generales	13
2.2.2. El transporte en Uruguay, infraestructuras, energía y niveles de explotación.....	14
3. RELEVAMIENTO DE TECNOLOGÍAS EN EL MERCADO INTERNACIONAL.....	17
3.1. Proceso de sustitución de tecnologías	17
3.2. Nuevas tecnologías aplicadas a nivel internacional.....	19
3.2.1. Tecnologías de gas natural como combustible	19
3.2.2. Tecnología de motor de combustión con biocombustibles (agrocombustibles)	30
3.2.3. Tecnologías híbridas eléctrica/combustión tradicional.....	35
3.2.4. Tecnologías híbridas eléctrica/GNC	40
3.2.5. Tecnología eléctrica para vehículos de transporte (VE).....	41
3.3. Tecnologías en proceso de investigación y/o desarrollo	47
3.3.1. Hidrógeno como vector energético aplicado al transporte.....	47
3.3.2. Tecnología eléctrica en fase de Investigación y Desarrollo	50
3.3.3. Tecnología de aire comprimido para vehículos	54
4. NORMATIVA REGULATORIA.....	55
5. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS.....	60
6. ANEXO. BASE DE DATOS DE TECNOLOGÍAS EXISTENTES.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de emisión de diferentes combustibles de origen fósil. Fuente: Usos de la Energía en el Transporte. M.P. Martín; A. García Álvarez	10
Tabla 2. Factores de emisión de diferentes combustibles de origen fósil por unidad de energía producida. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Minería, Uruguay	10
Tabla 3. Consumos previstos de etanol y biodiesel por regiones según los escenarios de nuevas políticas energéticas hasta 2035, en mboe/d (millones de barriles equivalentes de petróleo por día). Fuente: World Energy Outlook 2013. IEA.....	12
Tabla 4. Rendimiento de cultivos para la producción de los dos principales biocombustibles. Fuente: Empresarización de las actividades agropecuarias. Ministerio de Agricultura, Colombia. 2009	31
Tabla 5. Porcentajes de reducción media de emisiones de vehículo híbrido y convencional. Fuente: Tecnologías de propulsión híbridas y las evidencias científicas de su eficacia. 2006	39
Tabla 6. Valores límite de emisión de contaminantes atmosféricos contenidos en la norma EURO VI para la homologación de nuevos vehículos. Fuente: Norma EURO VI.....	57

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Esquema de usos de la energía en el sector transporte. Fuente: Usos de la Energía en el Transporte.....	3
Imagen 2. Diagrama Sankey de flujos de energía mundiales 2012. Fuente: IEA.....	4
Imagen 3. Esquema de flujos energéticos para la explotación del transporte. Fuente: elaboración propia a partir de M.P. Martín y A. García Álvarez (2006)	7
Imagen 4. Participación de las renovables en la generación de energía eléctrica en 2012. Fuente: CIER	11
Imagen 5. Composición del abastecimiento de energía eléctrica en 2012. Fuente: CIER	11
Imagen 6. Uso previsto de bioenergía (exclusivamente) por sectores productivos según las políticas energéticas. Fuente: World Energy Outlook 2013. IEA.....	13
Imagen 7. Venta de vehículos automotores por tipo de vehículo y año. Fuente: Anuario Estadístico del Transporte, MTOP 2013.....	15
Imagen 8. Niveles de emisiones de CO ₂ en g/km de varios combustibles y energía para transporte (teniendo en cuenta también el proceso de generación de estas energías). Fuente: Artículo Gas Natural licuado, la única alternativa al diésel para el transporte pesado, 2013	18
Imagen 9. Comparación de principales emisiones entre combustible convencional (MDO) y gas natural en su utilización en buques de transporte marítimo. Fuente: Asociación de Ing. Navales de España, 2012	24
Imagen 10. Comparación entre consumos de camión diesel y dual con GNC. Fuente: Ferrosite, 2014 ..	25
Imagen 11. Comparación entre consumos de autobús diesel y dual con GNC. Fuente: Ferrosite, 2014..	25

Imagen 12. Esquema general de una instalación global de GNC para recarga de vehículos. Fuente: José Ramón Freire López. Gas Natural Fenosa, 2014	28
Imagen 13. Esquema general de una instalación global de GNL con torre de licuefacción para recarga de vehículos. Fuente: José Ramón Freire López. Gas Natural Fenosa, 2014	29
Imagen 14. Fotografía de una estación móvil de recarga de gas natural. Fuente: José Ramón Freire López. Gas Natural Fenosa, 2014	29
Imagen 15. Emisiones en función del porcentaje de biodiesel (B0 - 0% de biodiesel, B100 - 100% de biodiesel). Fuente: VII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica CEIT, 2011	33
Imagen 16. Cuota de mercado de vehículos híbridos eléctrico-gasolina en los últimos años, por regiones. Fuente: Cetelem Auto 2014.....	36
Imagen 17. Gráfica de funcionamiento de un vehículo híbrido. Fuente: Toyota, 2010.....	36
Imagen 18. Esquemas básicos de funcionamiento del vehículo híbrido según su configuración. Fuente: Toyota, 2010.....	37
Imagen 19. Ciclo eficiente de la energía eléctrica limpia (en primaria y secundaria) en un ámbito con VE. Fuente: Tracción Eléctrica Proyecto VER, Jornada sobre Jornada sobre autos eléctricos UNCUIYO, Argentina, 2012.	46
Imagen 20. Cadenas posibles de tracción en vehículos híbridos con y sin hidrógeno como fuente de energía. Fuente: El hidrógeno como vector energético. Depto. Aerodinámica y Propulsión INTA. España, 2013	48
Imagen 21. Proyectos piloto de autobuses aplicados en ciudades europeas. Fuente: Guía de la eficiencia energética en automoción, AAE/IDAE, Ed. 2011	50
Imagen 22. Objetivo de número total de vehículos eléctricos en los estados miembros de EVI. Fuente: EVI 2013	52

1. OBJETO Y ALCANCE

1.1. Marco del Estudio

El presente trabajo se enmarca en el “Programa de cambio climático – Promoción de Fuentes Renovables y Uso Eficiente de la Energía” proyecto de cooperación entre el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) que fuera formulado en el marco de la VII Comisión Mixta Hispano uruguaya de Cooperación”.

La línea del POA en la que se inscribe esta actividad es: Resultado 2 “Mejora en la eficiencia energética del sector transporte” Producto 2.4 “Mejora de la información de base” y Actividad 2.4.2 “Sistematizar la información del sector transporte”.

El objetivo de la consultoría es relevar información sobre las tendencias mundiales en el uso de tecnologías disponibles a nivel comercial, así como el grado y la facilidad de penetración en otros mercados de referencia.

Elaborar una base de datos con las principales alternativas tecnológicas disponibles a nivel mundial para transporte que incluya las principales características que las describan, como ser datos técnicos, económicos así como referencias a mercados en donde se han utilizado las mismas.

Recopilación de información acerca de las posibilidades tecnológicas para la introducción de nuevas alternativas en transporte (fuentes, modos, etc.). Se pretende que esta base de datos constituya un insumo para estudios posteriores de penetración de diferentes tecnologías y fuentes, así como la sustitución de modos.

1.2. Objeto del Informe

El objetivo del presente Informe, como primer producto del Estudio, se centra en el análisis de las tecnologías disponibles hoy en día a nivel mundial y la evaluación de sus principales características, así como su aplicabilidad en el ámbito de estudio.

En este sentido, el documento se estructura de tal modo que, en primer lugar, se describen los conceptos generales y datos principales sobre los sectores energético y de transporte en el ámbito de estudio y, en segundo lugar se realiza un inventario y descripción de las principales tecnologías y fuentes de energía innovadoras que se están aplicando a nivel internacional, así como los escenarios futuros esperados en función de las tecnologías actualmente en fase de investigación o desarrollo.

1.3. Alcance y aspectos metodológicos del estudio

Se especifican a continuación los alcances de este estudio, clasificados según el ámbito de referencia.

- Alcance temático

El alcance temático está determinado por el análisis y puesta en valor de las tecnologías disponibles en el mercado internacional actual, que permitan mejorar la eficiencia energética dentro del sector transporte (tanto privado como público). Fundamentalmente, en el caso del transporte viario, se centrará en las tecnologías de uso de gas natural, energía eléctrica, o vehículos con tecnología híbrida y flex.

- Alcance territorial

El alcance territorial de aplicación a una realidad concreta de estas tecnologías será el Estado de Uruguay, mientras que el propio análisis que se llevará a cabo en este documento se referirá al ámbito territorial mundial, entendido como aquellas áreas principales en las que se están aplicando estas tecnologías (América, Unión Europea y parte de Asia, India y China).

- Alcance temporal

El alcance temporal se define en el ámbito contemporáneo y la actualidad. En función de los datos disponibles de las tecnologías encontradas, se analizará su aplicación actual, así como la proyección futura prevista de aquéllas que se encuentren en situación de desarrollo actualmente.

2. INTRODUCCIÓN. DATOS DE PARTIDA DEL SECTOR ENERGÉTICO Y DEL TRANSPORTE

2.1. Consumo de energía en el sector transporte

2.1.1. Aspectos generales

El movimiento de los vehículos de transporte requiere una aportación importante de energía, que en el caso de los vehículos privados, se traduce en el suministro de combustible al coche (ya sean derivados del petróleo, energía eléctrica, gas o biocombustibles), y por ello, se trata de una necesidad energética bien conocida para la mayor parte de los ciudadanos. Sin embargo, el consumo de energía en el transporte es algo más complejo, puesto que ésta se emplea también en otras etapas del proceso de transporte.

Dentro de los procesos de transporte, se pueden distinguir tres tipos de actividades que consumen energía:

- **Construcción y mantenimiento de infraestructuras.** Es necesario el empleo de energía para la construcción y el mantenimiento de las infraestructuras del transporte, ya sea de vías, caminos o de terminales. Normalmente el gasto de energía en estas actividades no es imputado al sector transporte, si no al de la construcción.
- **Construcción, final de vida y mantenimiento de vehículos.** Estos consumos de energía aparecen estadísticamente imputados al sector industrial, con la excepción del consumo de energía de los talleres de mantenimiento de trenes, aviones y barcos, que en ocasiones se imputan al transporte.
- **Explotación del transporte.** El consumo de energía para la explotación del transporte es el que produce directamente movimiento de los vehículos y otros servicios auxiliares, tanto en los propios vehículos (calefacción, aire acondicionado, iluminación), como en la infraestructura (terminales, señalización, etc.).

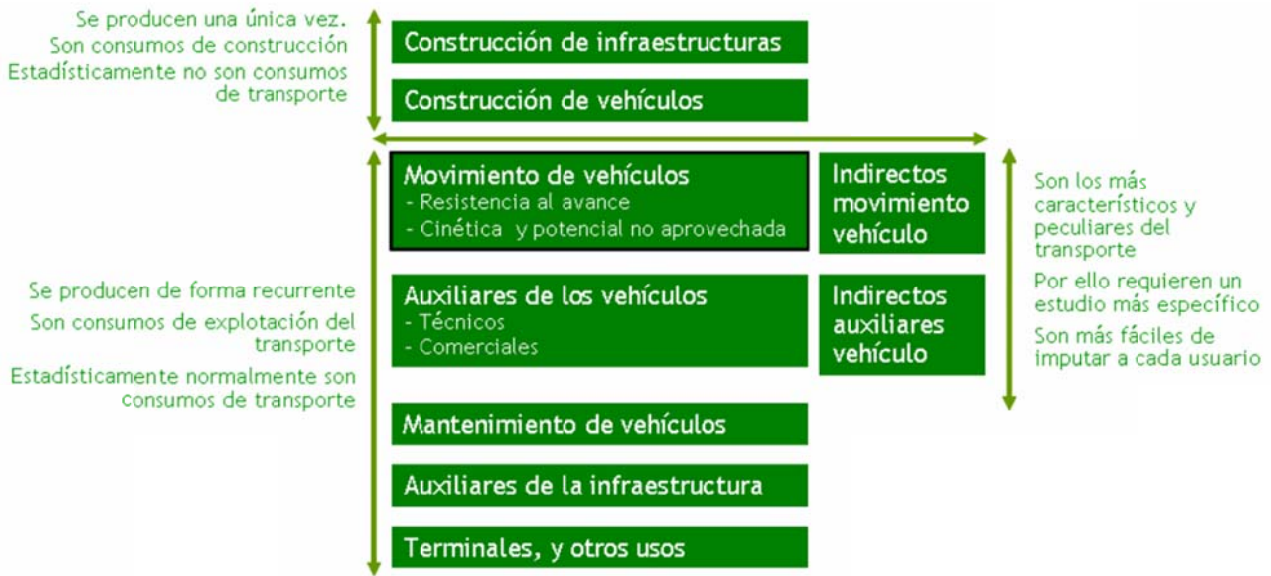


Imagen 1. Esquema de usos de la energía en el sector transporte. Fuente: Usos de la Energía en el Transporte

En este sentido, es interesante definir el concepto de *vector energético*. Los vectores energéticos son los productos resultantes de las transformaciones o elaboraciones de recursos energéticos naturales, es decir, en el caso del transporte, los principales vectores serían los combustibles derivados del petróleo (Jet-A, gasolina, etc.), del gas natural, de rocas sedimentarias (carbones) y la electricidad, obtenida por transformación de diversas fuentes primarias como los combustibles fósiles, la energía nuclear, hidráulica, eólica, solar, etc. El origen posible de toda energía secundaria es un centro de transformación, y el destino posible un centro de consumo (que puede ser punto de demanda final u otro centro de transformación).

En todos los casos son necesarios procesos que tienen un gran consumo de energía primaria y emisiones de gases. En un diagrama de flujos energéticos como el diagrama de Sankey, se puede observar las pérdidas o dispersiones por transferencia que tiene un determinado flujo de energía primaria en sus distintos procesos hasta convertirse en energía útil para la sociedad.

World
BALANCE (2012)

Millions of tonnes of oil equivalent

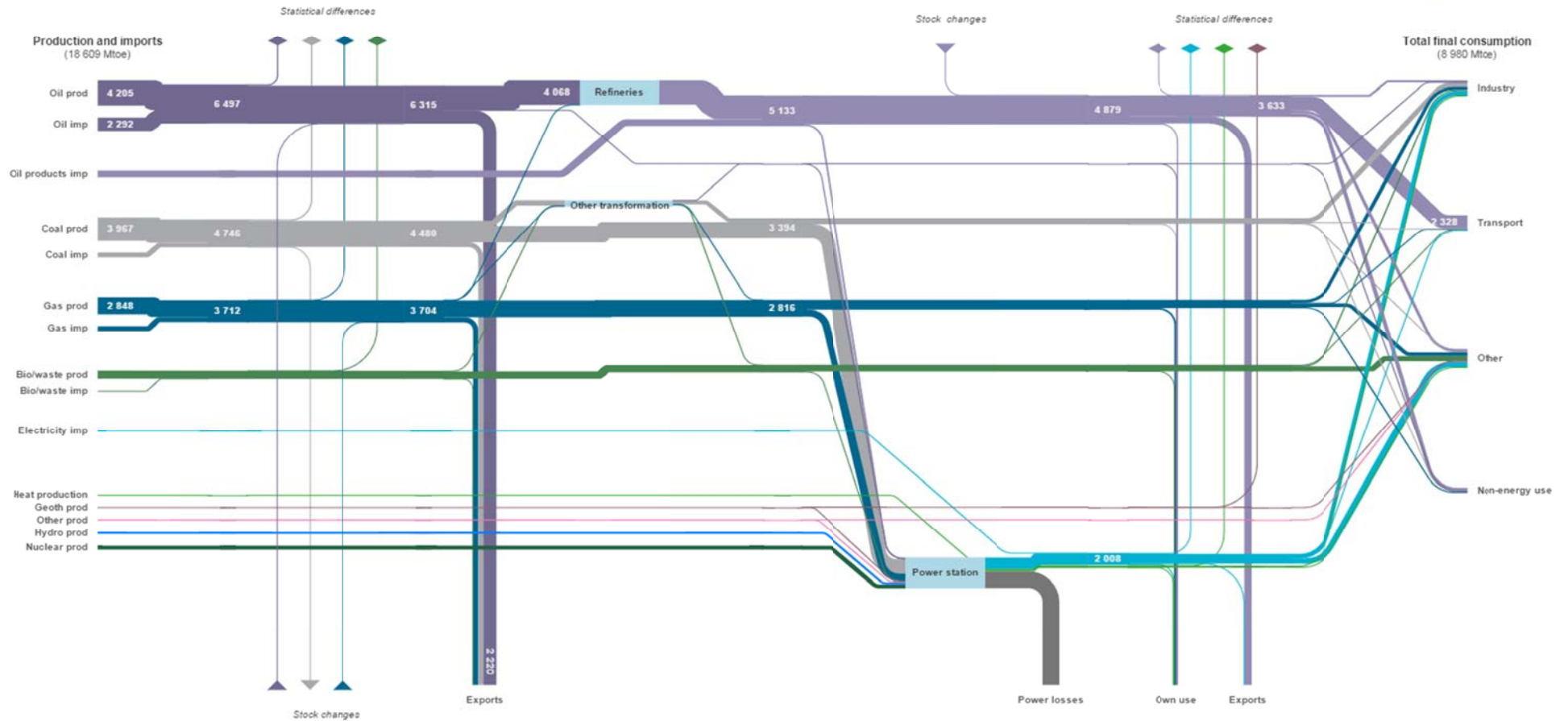


Imagen 2. Diagrama Sankey de flujos de energía mundiales 2012. Fuente: IEA

2.1.2. Flujos de energía

Para el análisis del consumo de energía en el transporte, en la parte que se refiere a la energía consumida por los vehículos, es fundamental disponer de una visión de conjunto sobre los diferentes tipos de tracción y de suministro a los servicios auxiliares; los vectores energéticos utilizados en cada caso; y las fuentes de energía empleadas.

Esto es de singular importancia puesto que el suministro de energía es una “cadena” cuyos efectos deben analizarse en su conjunto. Así, es engañoso pensar que un vehículo es especialmente eficiente porque lo sea su sistema de propulsión si emplea un vector energético que se produce con un rendimiento muy bajo o con un nivel de emisiones alto.

Ello resulta especialmente relevante cuando se compara la tracción eléctrica con la producida por los motores térmicos (diésel o de gasolina, por ejemplo). En el primer caso, los vehículos son muy eficientes, pero el rendimiento energético global se ve muy condicionado por la estructura de generación de electricidad y por las pérdidas en el transporte de electricidad. Según los casos, pueden llegar a apreciarse rendimientos globales similares en ambos sistemas.

Para una mejor comprensión del problema, el flujo de energía consumida por los vehículos puede medirse para su análisis, de forma genérica para todos los modos de transporte y tipos de tracción, en cuatro “puntos de control” que, comenzado a describirlos desde el fin de la cadena (en coherencia con el enfoque “de abajo a arriba” de ese trabajo), serían los siguientes:

- *Energía útil*, sería la energía realmente utilizada para el movimiento del vehículo (medida en llantas, en hélice, en rueda o en ala); y la energía empleada para los servicios auxiliares (medida en la entrada de los equipos consumidores de esta energía).
- *Energía final* sería la energía que entra al vehículo, que es el resultado de sumar a la energía útil, la energía que se pierde en los procesos de transformación y cambio de características que se producen dentro del vehículo. Entre estas pérdidas pueden citarse las del motor, de la transmisión del vehículo, las de generación de energía embarcada, de almacenamiento, la de transformación de energía, etc.
- *Energía suministrada al sistema de transporte*, que es diferente de la anterior en los casos en que se requiere un transporte o almacenamiento previo a la entrada de la energía en el vehículo (por ejemplo, en el caso de los aprovisionamientos a flotas desde depósitos centrales o de la energía eléctrica que se suministra a la compañía ferroviaria en las subestaciones de tracción). Realmente, la medición (intermedia) de esta energía no es relevante desde el punto de vista del consumo energético, pero sí puede serlo desde el punto de vista del coste económico soportado por el operador del transporte, ya que es la energía que paga.
- *Energía primaria*, es el resultado de sumar a la energía suministrada al sistema de transporte la que se pierde en los procesos de extracción, transporte, generación (en el caso de la eléctrica) o de refino (en el caso de derivados del petróleo), y en la conversión que se producen desde las fuentes primarias hasta el punto de entrega al sistema de transporte.

En lo que se refiere a las principales fuentes o formas de energía actuales para el transporte, electricidad, gas y petróleo, el flujo de la energía, en cada una de estas formas, incluye la fuente de producción, la

distribución y transporte al punto de entrega al sistema de transporte y el uso final en cada una de las formas.

El conocimiento del flujo permite analizar los rendimientos y costes totales de cada uno de los consumos. Así, el punto de suministro de la energía al sistema es relevante tanto para conocer su coste (si es preciso hacer transformaciones y transportes), como para saber qué pérdidas se incluyen dentro el sistema y cuáles se producen fuera del mismo.

La estructura de producción de la energía eléctrica, así como el de los biocombustibles, permite conocer el consumo de energía primaria, de energías renovables, las emisiones y la contaminación, considerando el conjunto del flujo.

Este análisis es relevante, ya que hace posible el conocimiento de los costes totales del empleo de energía en el transporte, que no resultan evidentes si sólo se analiza el coste económico y los consumos del sistema sin atender a su origen y a los procesos previos de transformación y transporte.

En efecto, el rendimiento energético de la tracción eléctrica en el vehículo de transporte es mayor que en la tracción diésel y además no contamina ni tiene emisiones. Sin embargo, si se tiene en cuenta que la producción de energía eléctrica requiere el empleo de cantidades variables de petróleo, carbón o gas en las centrales térmicas, resulta que este tipo de tracción sí tiene un efecto contaminante, y que su rendimiento global en términos de energía primaria puede no ser tan diferente del de la tracción diésel.

En la figura se muestra el flujo energético para los vehículos, distinguiendo entre energías renovables y no renovables, y se pueden localizar las pérdidas que tienen lugar desde la extracción de la energía hasta que ésta llega al vehículo.

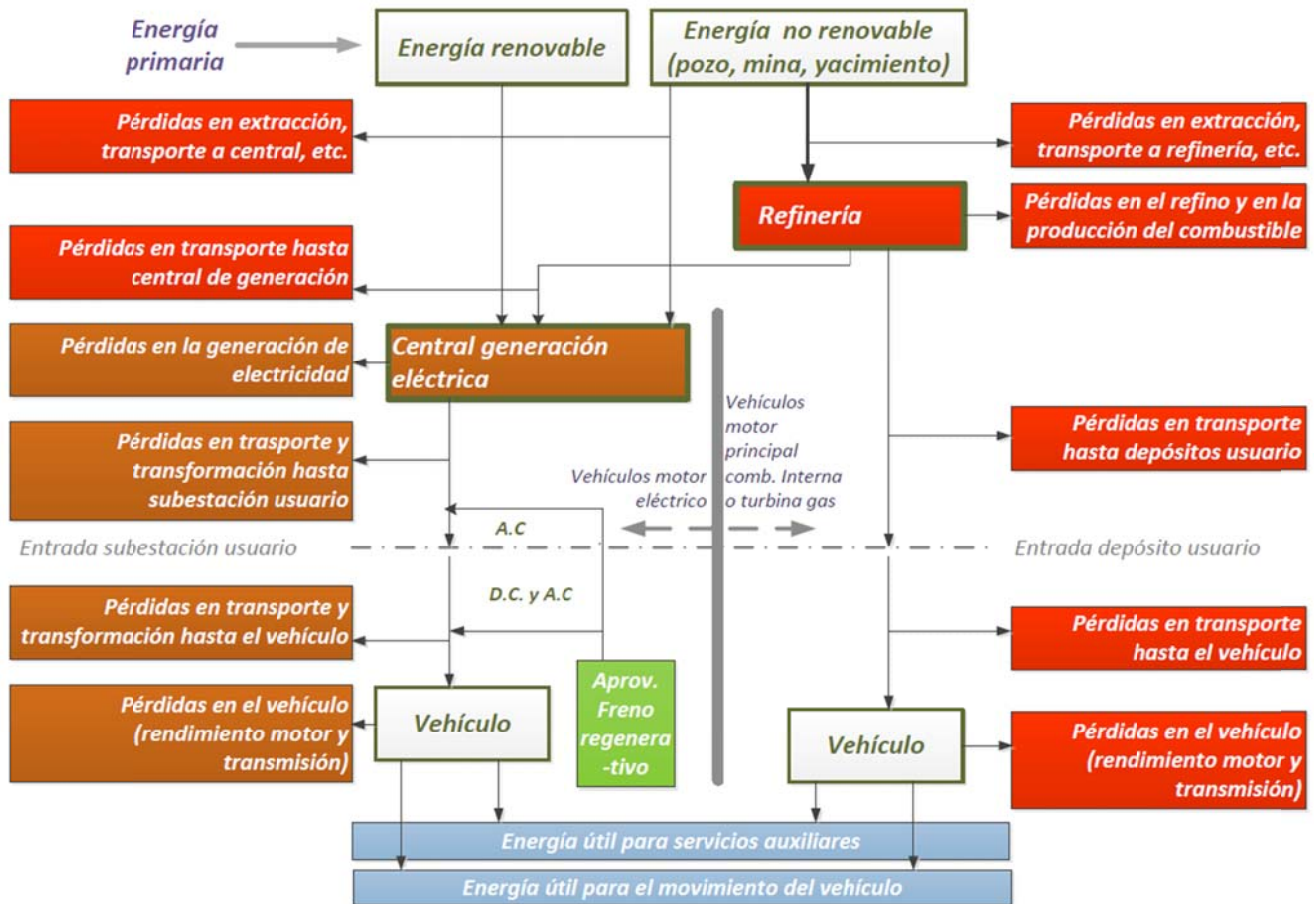


Imagen 3. Esquema de flujos energéticos para la explotación del transporte. Fuente: elaboración propia a partir de M.P. Martín y A. García Álvarez (2006)

2.1.3. Sistemas de propulsión por modos

A continuación se describen brevemente los sistemas de propulsión y fuentes de energía que se utilizan en los diferentes modos de transporte.

El transporte por carretera emplea como vectores energéticos, para todos los tipos de servicios, y de forma ampliamente mayoritaria, gasoil y gasolina que alimentan motores de combustión interna. En ciertos casos se emplean biocombustibles (biodiesel o bioetanol) y gas natural, pero de forma aún minoritaria (aunque su presencia se espera que cada vez sea mayor). Los vehículos de carretera de tracción eléctrica pura, no utilizan derivados del petróleo, aunque sus autonomías aún son escasas, mientras que los híbridos suelen emplear también derivados del petróleo o gas como vectores energéticos que producen energía eléctrica dentro del vehículo, o bien con un generador, o bien regenerada por el freno, o de ambas formas.

El **ferrocarril**, para atender sus diferentes necesidades energéticas, emplea fundamentalmente dos vectores energéticos (electricidad y gasóleo), y también otros vectores de forma menos intensiva (gas, fuelóleo, etc.).

- La electricidad en el ferrocarril se emplea para el movimiento de los trenes que circulan con tracción eléctrica; y para la alimentación de los servicios auxiliares de los trenes que circulan con tracción eléctrica (con alguna excepción, como algunos trenes Talgo o algunos coches camas, en los que los coches llevan grupos electrógenos para alimentar sus servicios auxiliares)
- El gasóleo en el ferrocarril se emplea para el movimiento y para la alimentación de los servicios auxiliares de los trenes de tracción diésel. También se emplea para la alimentación de los grupos electrógenos de los coches que llevan estos equipos para los servicios auxiliares, tanto cuando circulan con tracción eléctrica, como cuando lo hacen con tracción diésel. Se emplea el gasóleo para el movimiento de los trenes de tracción de turbina de gas (que son muy escasos).
- Fueloil: se emplea residualmente en algunos casos para el movimiento de trenes de tracción vapor (trenes históricos).

El **transporte por cable** (teleféricos, funiculares...), muy aplicado al transporte de tipo turístico y urbano en los últimos años, emplea energía eléctrica para la tracción del cable que desplaza los vehículos, reservando motores de combustión con diesel para situaciones de corte de suministro o de emergencia.

La **aviación** emplea como vectores energéticos:

- El Jet-A (derivado del petróleo) en turbinas de gas (reactores).
- Algunos tipos de gasolinas (100LL, AVGAS), para aplicarlos en motores de combustión interna.

Los **barcos** emplean fueloil, gasoil y gas natural en diversas formas para su movimiento, que se utiliza en motores de combustión interna o en turbinas de vapor o gas. El transporte marítimo es considerado hoy en día el más contaminante del mundo, debido a la mala calidad de los combustibles que utilizan (sobrantes de procesos de refinado de crudo) y los elevados consumos de los grandes barcos portacontenedores.

El **transporte por tubería**, tanto de gas como de derivados del petróleo, emplea electricidad y en algunos casos también el propio gas natural.

2.1.4. Rendimientos energéticos en el transporte

Según el tipo de motor principal empleado, es decir, según el tipo de tracción, las pérdidas en el vehículo es decir las pérdidas *tank to wheel* son diferentes, y también lo es el grado de variación del rendimiento en función del régimen de funcionamiento del motor (considerando motor estándar de 100 kW):

- En el caso de los vehículos de tracción diésel, el rendimiento del conjunto del vehículo (que depende bastante del régimen de uso de motor) suele ser de entre el 25% y el 35 %.
- En los motores de gasolina, el rendimiento del vehículo (también dependiente del uso del motor) puede ser desde un 23 a un 33 %.
- En los motores a gas natural los rendimientos son algo más reducidos que los anteriores aunque de orden de magnitud similar.
- En los vehículos de tracción eléctrica, el rendimiento del motor puede ser del orden del 80 al 90%, y es menos dependiente del régimen de funcionamiento del motor.

2.1.5. Efectos negativos del consumo de energía en el transporte

Los costes del uso de la energía no son sólo de naturaleza económica, sino que también hay que tener en cuenta todos los efectos negativos que se producen por el hecho de consumir energía, que son denominados *costes sociales*. Se pueden identificar fundamentalmente dos tipos de costes o efectos negativos:

- Contribución al agotamiento de las fuentes no renovables de energía (carbón, petróleo, gas...)
- Emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero a la atmósfera

Hasta el descubrimiento de las consecuencias de la emisión de los gases de efecto invernadero sobre el cambio climático, el agotamiento de los combustibles fósiles era la principal preocupación en lo que se refiere al consumo de energía en general y del transporte en particular por su vinculación al petróleo.

En la actualidad, las emisiones de gases de efecto invernadero constituyen la principal preocupación, quizás con la excepción del transporte marítimo en el que las emisiones de otros contaminantes (como azufre).

A pesar de que en el caso de Uruguay la matriz de energía está dominada casi en su totalidad por fuentes de tipo renovable; en lo referido al consumo de fuentes no renovables, a nivel general, el transporte es uno de los principales consumidores de energía y, con las tecnologías actuales, emplea fundamentalmente derivados del petróleo (en la mayoría de países del mundo), tanto para el transporte por carretera como para el marítimo y el aéreo. Sólo una parte de transporte por ferrocarril y el transporte por tubería emplean energía eléctrica (de la que a su vez, al menos una parte, es generada con combustibles fósiles, aunque los datos son diferentes según países y años).

Ello implica que la demanda de energía para el transporte, sobre todo de derivados del petróleo, es una de los principales causas de agotamiento de los recursos naturales; y que el ferrocarril eléctrico y el transporte por tubería también contribuyen (aunque en menor medida) al agotamiento del carbón, del gas y del petróleo por la parte de la generación de electricidad que emplea estos combustibles.

La reducción del este efecto negativo puede venir por la disminución de la cantidad de energía consumida, ya sea por reducción de la movilidad, ya sea por mejora de la eficiencia energética (que es lo que se pretende iniciar a partir del presente Estudio) o por ambas causas. Además de ello, sólo el aumento de peso relativo del transporte realizado con energía eléctrica y el empleo de otro tipo de combustibles puede reducir este efecto negativo, es decir, a través de la **aplicación de nuevas tecnologías** en este sentido.

En este sentido, Uruguay posee una gran oportunidad, al tener un panorama energético de fuentes renovables, para aprovecharlo y cambiar el modelo de transporte hacia tecnologías más limpias desde su origen. Por ejemplo, la tecnología eléctrica pura a partir de energía eléctrica de origen eólico o hidroeléctrico.

En cuanto a emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, el transporte es líder en la emisión de algunos de estos compuestos a la atmósfera en la mayoría de grandes ciudades del mundo, como partículas en suspensión, óxidos de carbono (CO), los compuestos de nitrógeno (NO) y algunos compuestos de azufre.

En el caso de los **combustibles fósiles**, los factores de emisiones de CO₂ y SO₂ dependen de la composición del combustible y su densidad. La cantidad emitida es directamente proporcional a la cantidad de combustible consumido. Las siguientes tablas muestran los factores de emisión en kilogramo y litros por kilogramo o gramo de combustible, en función de la densidad considerada.

Combustible	Densidad considerada (g/cm ³)	CO ₂ (kg/l)	SO ₂ (g/l)
Gasolina	0,68	2,1624	0,24
Gasóleo	0,836	2,625	0,59
Jet-A	0,75	2,3625	0,73

Tabla 1. Factores de emisión de diferentes combustibles de origen fósil. Fuente: Usos de la Energía en el Transporte. M.P. Martín; A. García Álvarez

Concretamente para Uruguay, según datos del MIEM, y con unidades diferentes a las anteriores (por unidad de energía producida), se tienen los siguientes factores de emisión para el CO₂.

Combustible	CO ₂ (kg/TJ)
Fuel oil	77.400
Diesel oil	74.100
Jet-A	71.900

Tabla 2. Factores de emisión de diferentes combustibles de origen fósil por unidad de energía producida. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Minería, Uruguay

En el caso de transporte generado a partir de **energía eléctrica**, para poder comparar las emisiones de gases contaminantes o de efecto invernadero a la atmósfera es necesario conocer el origen de esta energía que, es muy diferente según regiones del mundo. Por ejemplo, si nos centramos en la Unión Europea, con datos del año 2007 (fuente: *European Commission*), se tiene que, de media, la proporción entre fuentes de energía de estos países, sería aproximadamente de 40% de origen fósil (térmica), 20% de origen nuclear y 40% de origen renovable (y otras). Mientras que en Sudamérica, se tiene la siguiente proporción entre países de la Comisión de Integración Energética Regional (CIER):

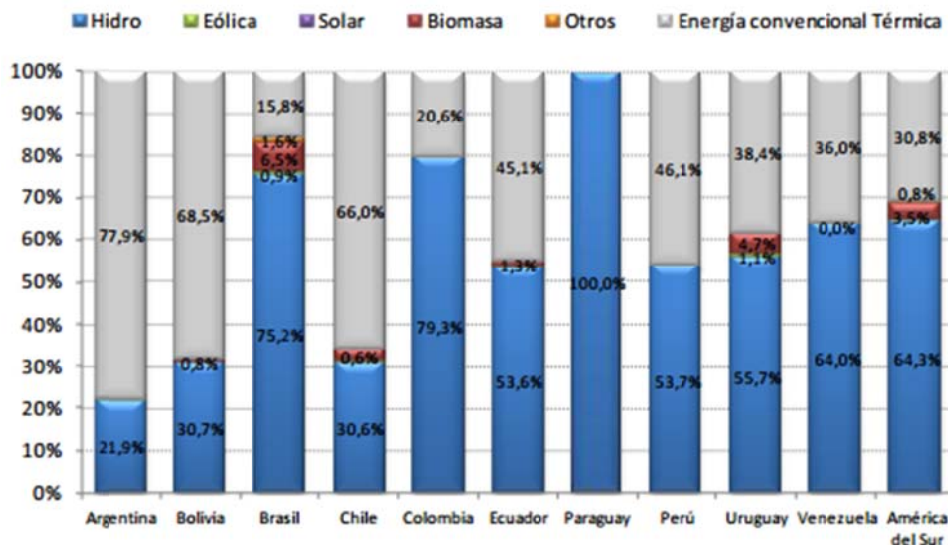


Imagen 4. Participación de las renovables en la generación de energía eléctrica en 2012. Fuente: CIER

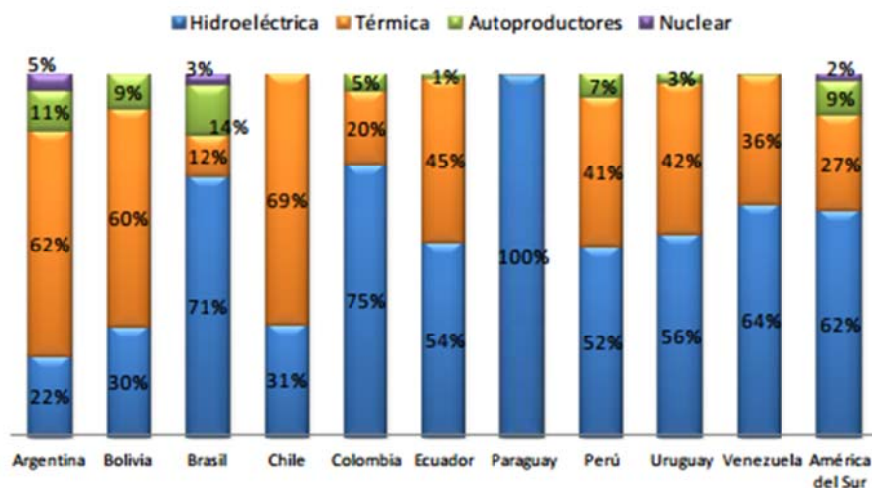


Imagen 5. Composición del abastecimiento de energía eléctrica en 2012. Fuente: CIER

Normalmente, al ser la energía eléctrica fuente común con una gran cantidad de servicios e instalaciones (industria, usos residenciales, etc.), no suelen diferenciarse las emisiones generadas por estas fuentes específicamente para el sector transporte no encontrándose en muchos casos datos sobre ello. En cualquier caso sí que se pueden analizar los tipos de emisiones que generan estas fuentes en función de su proporción en cada país. Para el caso de Uruguay, se han realizado varios estudios sobre las emisiones de CO₂ del sistema eléctrico, estimándose en 0.60 tCO₂/MWh, en 2012 (fuente: Evolución prevista del factor de emisión de CO₂ del sistema de generación de energía eléctrica de Uruguay - 2012 a 2020, ELAEE 2013).

Si la fuente de generación es no emisora de estos tipos de gases y de tipo renovable, esta emisión y el consumo de energía para el transporte no serían los aspectos negativos del mismo, puesto que se consumiría una energía completamente limpia (a partir de energía eléctrica).

2.1.6. Tendencias del consumo de energía en el transporte

En el consumo de energía para el sector transporte, se espera una tendencia generalizada hacia la reducción en la utilización de fuentes de energía procedentes de combustibles fósiles (derivados del petróleo, carbón, etc.), tendiéndose hacia el consumo pleno de fuentes de energías renovables (en su origen) o tecnologías de transición hacia ellas (tecnologías híbridas, tipo “flex”, etc.).

Si, por ejemplo, nos centramos en el consumo de este tipo de combustibles/energías de transición, como los biocombustibles o el etanol para vehículos viales, las proyecciones previstas para los próximos años (a corto/medio plazo), se podrían resumir según la siguiente tabla.

	Ethanol		Biodiesel		Biofuels total		Share of road transport energy use	
	2011	2035	2011	2035	2011	2035	2011	2035
OECD	0.7	1.5	0.2	0.8	0.9	2.3	4%	12%
Americas	0.6	1.3	0.1	0.3	0.7	1.6	4%	13%
United States	0.6	1.2	0.1	0.3	0.7	1.5	5%	15%
Europe	0.0	0.2	0.2	0.5	0.2	0.7	4%	12%
Non-OECD	0.3	1.4	0.1	0.4	0.4	1.8	2%	5%
E. Europe/Eurasia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0%	2%
Asia	0.0	0.7	0.0	0.1	0.1	0.8	1%	4%
China	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	1%	4%
India	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0%	4%
Latin America	0.3	0.8	0.1	0.2	0.4	1.0	10%	20%
Brazil	0.2	0.6	0.0	0.2	0.3	0.8	19%	30%
World	1.0	2.9	0.4	1.1	1.3	4.1	3%	8%
European Union	0.0	0.2	0.2	0.5	0.2	0.7	5%	15%

Tabla 3. Consumos previstos de etanol y biodiesel por regiones según los escenarios de nuevas políticas energéticas hasta 2035, en mboe/d (millones de barriles equivalentes de petróleo por día). Fuente: World Energy Outlook 2013. IEA

Si separamos por sectores, centrándonos en **el transporte**, como se aprecia en la siguiente figura (barra amarilla), en el mundo se prevé que aumente el consumo de bioenergía para este sector en el orden de más del doble, llegándose a triplicar para países de fuera de la OCDE (Non-OECD en la figura siguiente).

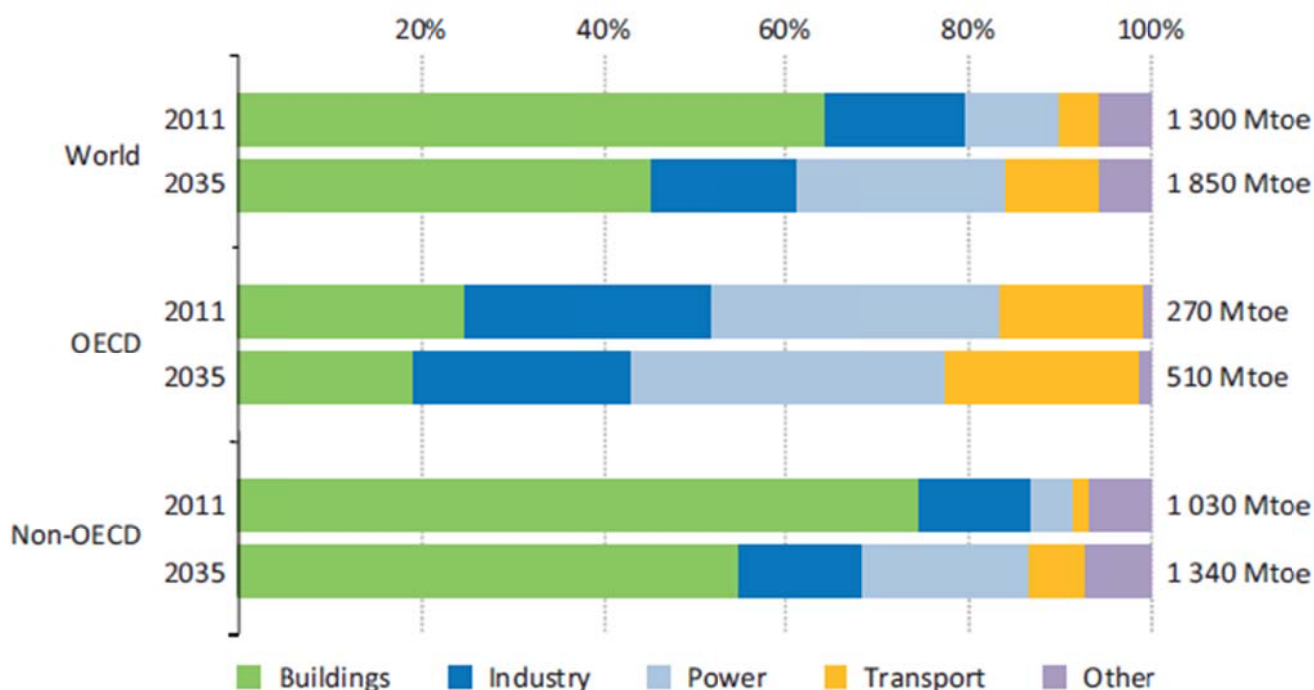


Imagen 6. Uso previsto de bioenergía (exclusivamente) por sectores productivos según las políticas energéticas.
Fuente: World Energy Outlook 2013. IEA

En función de la región, el incremento en la utilización de este tipo de combustibles es mayor o menor. Por ejemplo, en la Unión Europea, a largo plazo, las políticas tienden hacia la implantación del modelo de transporte alimentado por energía eléctrica (tanto colectivo como individual, en los modos de transporte terrestre), pasando por vehículos de tecnología híbrida eléctrico/gasolina o eléctrico/GNC. Además, las políticas, a través de la Directivas Europeas publicadas en los últimos años, van encaminadas a que esta energía eléctrica proceda de fuentes renovables y con cero emisiones (objetivo a largo plazo).

2.2. Sector energético y del transporte en Uruguay

Para sentar las bases del estudio se plantea en este apartado un breve análisis de la situación actual del sector transporte, relacionado con la energía, en Uruguay, realizado en base a la información de varios documentos que se citarán en las fuentes y en el apartado correspondiente de *bibliografía*.

2.2.1. Aspectos generales

Uruguay –un país relativamente pequeño, si se compara con otros países de la región– ha tenido un excelente desempeño económico en los últimos años. Con unos 176.000 km² y 3,3 millones de habitantes, el país logró salir fortalecido de la crisis que envolvió a la región entre los años 1999 y 2002, en que la actividad económica se redujo el 18%. La recuperación se inició en el último trimestre de 2002 y desde entonces el Índice de Volumen Físico (IVF) desestacionalizado no ha dejado de crecer en términos relativos. En el tercer trimestre del año 2014 la economía uruguaya creció 3,7% en términos interanuales. En términos desestacionalizados, el Producto Interno Bruto (PIB) disminuyó un 0,4%. El volumen físico de la demanda interna creció en comparación con igual trimestre del año anterior debido

al aumento registrado en el Gasto de Consumo Final (4,3%), ya que se produjo una disminución de la Formación Bruta de Capital en el período (-9,6%).

Las Exportaciones presentaron, en este tercer trimestre de 2014, un incremento interanual en volumen físico de 3,8%, mientras que las Importaciones disminuyeron a una tasa de 1,6%. Estos comportamientos determinaron que en el tercer trimestre de 2014 se registrara un saldo neto negativo en el volumen físico de las transacciones de bienes y servicios con el exterior menor al observado en igual trimestre del año anterior (fuente de datos: Banco Central de Uruguay).

2.2.2. El transporte en Uruguay, infraestructuras, energía y niveles de explotación

El sistema de transporte de Uruguay puede ser caracterizado como de aceptable grado de madurez y de extensión compatible, en general, con las dimensiones y las necesidades del país. El transporte automotor por carretera es el modo de transporte que estructura la movilización de los flujos domésticos de carga y pasajeros. En lo que se refiere a la carga sirve 9.200 millones de toneladas-km, que representan alrededor del 97% de las toneladas-km totales del país, lo cual es completado marginalmente por el transporte ferroviario, con unas 300 millones de toneladas-km, cerca del 3% del total nacional. La movilización de carga doméstica también muestra una reducida participación del transporte fluvial, que sólo atiende algunos movimientos de combustible y celulosa sobre el río Uruguay. En lo que respecta al transporte de personas (interurbano o de larga distancia), el transporte automotor (automóviles particulares y buses) atiende el 100% de la demanda ya que las dimensiones del país y el tamaño del mercado han impedido el desarrollo de los servicios aéreos de cabotaje, y los servicios ferroviarios de pasajeros de larga distancia fueron discontinuados hace más de 20 años (este medio para pasajeros existe pero según los datos actuales se considera residual). En el transporte marítimo destaca sobre todo el puerto de Montevideo, ya que no sólo sirve a la actividad económica uruguaya sino que también ha logrado posicionarse en el ámbito regional, compitiendo con otros puertos del Río de la Plata, principalmente, en lo que respecta al tráfico de contenedores. Desde enero hasta octubre de 2014, el puerto movilizó **641.580 TEUs**, siendo el total en el año 2013 de 826.962 TEUs (fuente: Administración Nacional de Puertos de Uruguay, ANP).

Sector carretero

En lo referido a infraestructura de transporte terrestre disponible, la red vial nacional posee poco menos de 8.700 km de carreteras de las que casi el 89% están pavimentadas y de éstas, 222 km son vías de doble calzada. Predominan los pavimentos con tratamientos bituminosos (48% del total) y con concreto asfáltico (37% del total). Juntos constituyen el 85% de la red vial nacional. La red vial nacional se encuentra complementada por unos 62.000 km de caminos de penetración de jurisdicción municipal, de los cuales alrededor de 52.000 km son de balasto, lo que permite la circulación permanente.

En cuanto a la utilización de la red vial es baja. En términos generales, el tránsito promedio se ubica en el orden de los 1.000 vehículos diarios y son escasos los tramos que superan los 5.000 vehículos por día. Una encuesta realizada en 2005 (fuente: CAF) indicaba el predominio de los automóviles (80% del tránsito) sobre los camiones (16%) y los buses (4%). El total de vehículos circulando ha crecido considerablemente en los últimos 10 años, acompañando el buen desempeño de la economía.

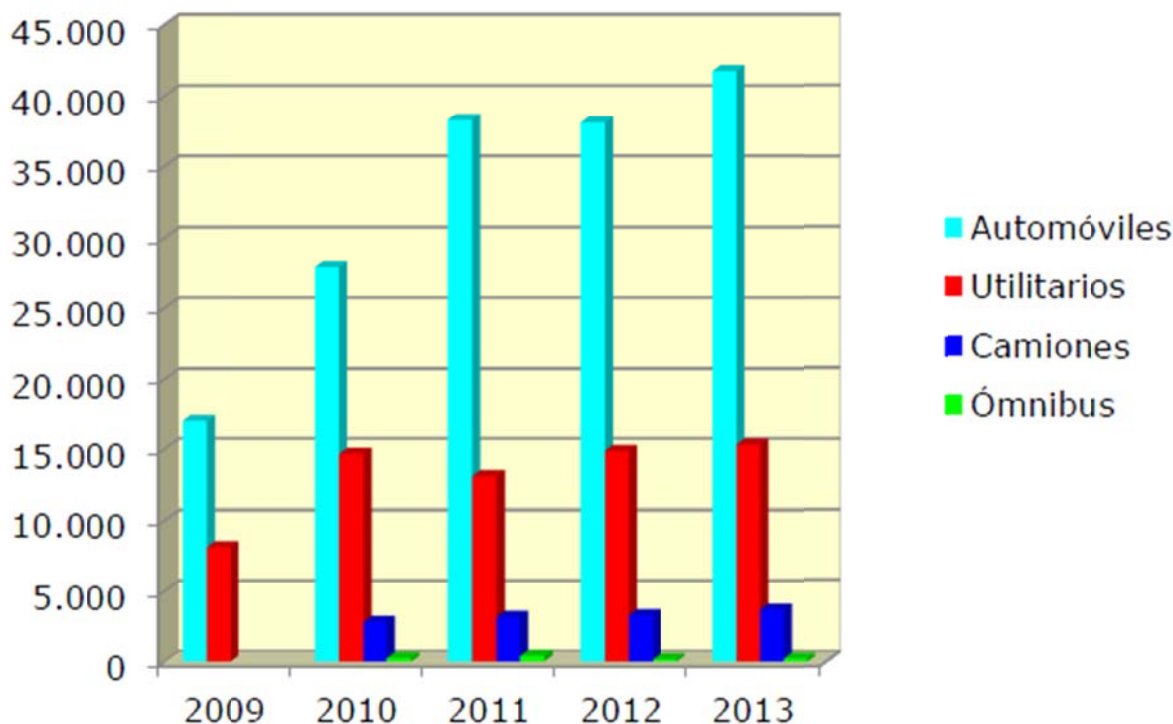


Imagen 7. Venta de vehículos automotores por tipo de vehículo y año. Fuente: Anuario Estadístico del Transporte, MTOP 2013

Como se observa en el gráfico anterior la tendencia es de crecimiento por el aumento de la actividad económica y, consecuentemente también del parque de vehículos. En comparación con otros países latinoamericanos la red vial de Uruguay posee muy buenos índices de cobertura. Esto se manifiesta tanto en términos de los kilómetros de red pavimentada por cada 1.000 habitantes, indicador en el que el país alcanza el mejor nivel de América Latina, como en términos de kilómetros pavimentados por unidad de superficie del territorio, indicador en el que se encuentra en segundo lugar, inmediatamente por debajo de México.

Sector ferroviario

En cuanto a infraestructura ferroviaria, la Administración de los Ferrocarriles del Estado (AFE), empresa ferroviaria del Uruguay, posee alrededor de 3.000 km de vía de trocha media o estándar (1.435 m). La casi totalidad de la red ferroviaria uruguaya es de vía simple, cubre la mayor parte de la geografía del país y fue construida bajo un criterio de bajo costo, es decir, con el mínimo consumo de recursos. De la red total de alrededor de 3.000 km, unos 1.640 km o poco más de la mitad, se encuentran hoy en operaciones.

Desde la segunda mitad de la década de los ochenta, AFE ha concentrado sus esfuerzos principalmente, en el transporte de carga. En este sentido, ha movilizado, en los 10 años, período 1995-2004, un promedio de 1,12 millones de toneladas con una distancia media reducida de 219 km. Los resultados de 2005-2007 muestran mejoras con respecto a aquel nivel. En particular, en 2007 se movilizaron 1,38 millones de toneladas y 284 millones de toneladas-km, que superaron en 23% (toneladas) y 16% (toneladas-km) al promedio del período 1995-2004.

AFE también presta servicios de pasajeros suburbanos en los alrededores de Montevideo. A lo largo de 2011 la demanda fue de 594.000, con pequeñas fluctuaciones de este dato si nos fijamos en el valor interanual (fuente: AFE).

La red ferroviaria uruguaya posee muy baja densidad de tráfico. En 2011 se trasladaron 164,67 millones de Ton-km de carga, aunque en 2009 se superaron los 275 millones de Ton-km (fuente: AFE). Esto implica que sobre cada km de la red circulan, en promedio, 1,5 trenes diarios, de los cuales la mitad son trenes de retorno, la mayoría de los cuales circulan exclusivamente con vagones vacíos; es decir, en promedio, por cada km de vía de AFE, circula algo menos de un tren cargado por día (fuente: CAF).

Sector marítimo

El sistema portuario uruguayo posee 17 instalaciones portuarias comerciales aptas para el tráfico de carga y pasajeros. Del total, 15 son fluviales y dos marítimas y, al mismo tiempo, 7 son particulares y 10 son públicas. De los puertos públicos, siete son de gestión pública a través de la Administración Nacional de Puertos (ANP) y tres son de gestión privada mediante concesiones. Adicionalmente, existen ocho puertos pesqueros y deportivos administrados por la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH).

Las cifras de carga de contenedores y TEUs en el Puerto más importante, el de Montevideo se han reflejado en los párrafos precedentes. El tráfico de contenedores está fuertemente concentrado en Montevideo, con un crecimiento del 15% anual en años recientes, basado principalmente en los transbordos. El crecimiento de la cantidad de escalas de buques operados en el período 2003-2007 fue del 29%, lo que indica un incremento en el tamaño de los buques operados y un mayor volumen por operación. Por otro lado, se observa que en 2008, se registra un aumento en los volúmenes totales en TEU de aproximadamente el 25% debido a la continuidad del aumento del tráfico por *container* y a la incorporación de las operatorias de la planta de pasta de celulosa de Botnia en Fray Bentos y Nueva Palmira.

Sector aéreo

El sistema aeroportuario de Uruguay posee una red de 16 aeropuertos. Si bien 9 de los 16 aeropuertos están calificados como internacionales, únicamente dos, el de Montevideo y el de Punta del Este, reciben vuelos regulares y sirven rutas internacionales. El resto de la red opera vuelos de aviación general y operaciones militares.

El Aeropuerto Internacional de Carrasco es la principal entrada de pasajeros del país y atiende el tráfico de Montevideo y sus alrededores. Es operado desde 2003 por una empresa privada por un plazo de 20 años.

El aeropuerto de Carrasco ha sido consistentemente el de mayor tráfico, seguido los años por el de Laguna del Sauce, Punta del Este. Sin embargo, aeropuertos como Salto, Rivera y Colonia han llegado a operar, en 2001, volúmenes de tráfico hasta 9 ó 10 veces los registrados en 2006. Otros aeropuertos como Paysandú o Artigas registraron ese mismo año volúmenes de tráfico aproximadamente cuatro veces superiores. La falta de una red interna de transporte aéreo regular implica una gran concentración del tráfico en Montevideo. Esta carencia es producto de un mercado que no puede sustentar un servicio regular.

El volumen de pasajeros transportados desde y hacia Buenos Aires constituye aproximadamente un tercio del volumen total de pasajeros de Carrasco, lo que indica la importancia relativa del tráfico sobre el Río de la Plata en el total del tráfico. El volumen de pasajeros nacionales no llega al 1% en ninguno de los años, lo que implica que los pasajeros hacia otros destinos internacionales conforman aproximadamente dos tercios del total (datos de 2006, fuente: CAF).

3. RELEVAMIENTO DE TECNOLOGÍAS EN EL MERCADO INTERNACIONAL

3.1. Proceso de sustitución de tecnologías

El proceso de sustitución de tecnologías por otras más eficientes es un proceso que se debe fomentar a nivel mundial, especialmente en el sector transporte que es el que más emisiones de contaminantes, junto con la industria emite, con los costes sociales y ambientales que ello supone.

Este proceso de sustitución de las tecnologías existentes por otras requiere, en primer lugar, de una iniciativa decidida y potente por parte de las Administraciones Públicas de los Estados, además de por los organismos internacionales relacionados (asociaciones, comités normativos, uniones de países, etc.) y de las entidades de desarrollo internacional.

La colaboración entre estos entes con una planificación clara por parte de las administraciones asegura un proceso efectivo para el relevamiento y sustitución de este tipo de tecnologías. Es por ello que las **decisiones de planificación** de los Gobiernos juegan un papel clave en este caso.

Estas decisiones contemplan actuaciones como:

- Estudios previos y asesoría para conocer la realidad y los nuevos desarrollos existentes y tendencias
- Iniciativas “verdes” de carácter público en relación con un transporte sostenible
- Inversión de recursos en infraestructuras estratégicas en este sentido
- Políticas eficientes de subvención para la fabricación/adquisición de nuevas tecnologías
- Incorporación de nuevas tecnologías en el propio sector público y fomento de su utilización

En las últimas décadas Gobiernos y Entes Internacionales han promovido la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en el sector del transporte, invirtiendo de forma eficiente en programas y proyectos colaborativos con el fin de avanzar en las tecnologías más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

En este sentido, la Unión Europea, Estados Unidos, Canadá y Japón son Estados pioneros en la inversión de recursos en estos proyectos, habiendo financiado la investigación, el desarrollo y en muchos casos, también la comercialización de nuevas tecnologías, haciendo partícipes a las Administraciones regionales y locales para la incorporación de las mismas en transportes de tipo urbano/metropolitano.

En este sentido, se ha establecido una política mundial para promover los medios y las tecnologías de transporte más limpias, entre las que destacan el ferrocarril y los vehículos carreteros impulsados con energía eléctrica, hidrógeno o gas natural.

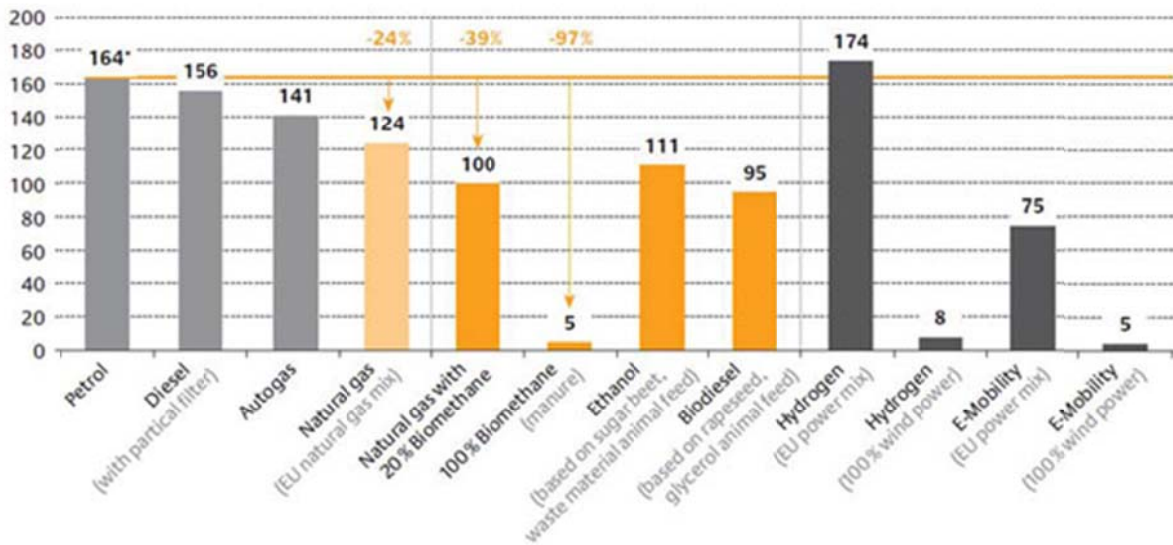


Imagen 8. Niveles de emisiones de CO₂ en g/km de varios combustibles y energía para transporte (teniendo en cuenta también el proceso de generación de estas energías). Fuente: Artículo Gas Natural licuado, la única alternativa al diésel para el transporte pesado, 2013

Además de apostar por nuevas tecnologías para la tracción de los sistemas de transporte, proceso que supone una inversión en recursos muy elevada, existen otras iniciativas y tecnologías de menor coste que ya se han implantado y continúan implantándose en un amplio sector de ciudades de la Unión Europea y América.

Se trata de iniciativas como políticas locales y regionales de promoción del transporte público en grandes aglomeraciones urbanas, mejorando los servicios de estos sistemas, invirtiendo en mejora de infraestructuras (mejora de itinerarios peatonales en detrimento de la circulación de tráfico rodado privado, implementación de carriles bici...) y en la incorporación de nuevos modos de carácter público más eficientes y limpios (tranvía urbano, metro ligero, utilización de la bicicleta, bus eléctrico/híbridos de gran capacidad, etc.).

También se están generalizando políticas públicas de favorecimiento de tecnologías limpias como reducción de los impuestos de matriculación y de circulación de vehículos en función de su emisión de contaminantes, aparcamientos gratuitos para vehículos eléctricos o permiso para utilización de carriles para Vehículos de Alta Ocupación (VAO) para este tipo de vehículos con emisiones nulas.

Un ejemplo de mejora en estas políticas es la llegada de los **Sistemas de Ayuda a la Explotación** (SAE) de sistemas de transporte público, aplicados especialmente en redes de trenes metropolitanos, tranvía y autobús. Esta tecnología permite planificar, coordinar y controlar perfectamente los servicios horarios de estos sistemas, permitiendo así mejorar los servicios prestados, mejorando frecuencias, puntualidad, incrementando la seguridad, etc. Lo que redundará en una mayor eficiencia de la energía implementada para el modo, menores consumos y por tanto, menores emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Los sistemas más avanzados en este sentido son los que suelen aplicarse en los sistemas ferroviarios de tipo urbano (metro y tranvías), habiendo gran variedad de tipos y vinculados con los propios sistemas internos de comunicaciones. Así, se pueden encontrar los sistemas SAE vinculados a sistemas de

seguridad como el ATP (*Protección Automática del Tren*) o el ATO (*Operación Automática del Tren*), que permiten la conducción de las unidades ferroviarias con total seguridad, puntualidad y optimización de velocidades por tramos (a través de la implementación de curvas de aceleración en función del trazado y los elementos de señalización).

3.2. Nuevas tecnologías aplicadas a nivel internacional

En esta sección del documento se describen las tecnologías especificadas en la matriz que constituye la base de datos de éstas (Producto IB) y que acompaña al presente informe, acompañados de las fuentes de los datos que figuran en la misma.

Antes se realizan unas breves reflexiones o aclaraciones a tener en cuenta sobre los datos obtenidos de cada tecnología para la base de datos.

- El primer campo tecnológico de la base de datos se ha incorporado como referencia con el fin de poder realizar la comparación con el resto de tecnologías.
- La normativa especificada en la base de datos adjunta es la principal de carácter internacional, especificándose en mayor medida en el presente informe, para cada tecnología y normativa general aplicable a todas ellas en la sección 4. *Normativa Regulatoria* del documento.
- Los datos de costos obtenidos en euros han sido transformados a USD con el tipo de cambio medio 1.24 USD/€
- Los datos de costos de tecnologías e infraestructuras que se muestran en la base de datos han sido obtenidos a partir de datos de precios europeos de combustibles actualmente, pero hay que tener en cuenta que el mercado de los combustibles fósiles sufre fuertes fluctuaciones a nivel internacional a lo largo de los meses, por lo que no se consideran datos estimativos (establecimiento de orden de magnitud). En el caso de precios CIF, habiendo evaluado los costes de importación, aduanas, etc. para el caso de Uruguay se ha establecido un incremento de un 25% en los costos extranjeros.
- Las emisiones de contaminantes obtenidas para cada tecnología tienen en cuenta aquéllas generadas durante su explotación, no las que se generan en fase de energía primaria, ya que depende de la fuente de energía concreta.
- Las fuentes de datos están nombradas en cada apartado. A nivel general, la fuente para la vida útil y costos de infraestructuras se ha solicitado al suministrador de surtidores de combustible *Grupo Ham - Galileo*.

3.2.1. Tecnologías de gas natural como combustible

El **gas natural** (mayoritariamente, metano) es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra en yacimientos independientes de gas o en yacimientos de petróleo, **disuelto** o **asociado** con el petróleo o en depósitos de carbón.

Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se extrae, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 o 95 % (p. ej., el gas

no-asociado del pozo West Sole en el Mar del Norte, en Europa), y suele contener otros gases como nitrógeno, ácido sulfhídrico, helio y mercaptanos.

Como combustible para vehículos de transporte (gas natural vehicular), las diferencias principales con un motor convencional están en el sistema de alimentación y de almacenamiento de combustible. En general, son vehículos localmente menos contaminantes. El gas natural podría cubrir (al menos, temporalmente) la demanda creciente del sector del transporte (fuente: gnv.cl), el gas natural vehicular es una alternativa a corto plazo para satisfacer la demanda de combustible y reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno y partículas en las grandes ciudades. En cuanto a emisiones de CO₂, la reducción no es tan significativa (aproximadamente de un 15%-20%).

El gas natural vehicular puede presentarse en forma de Gas Natural Comprimido (GNC) o de Gas Natural Licuado (GNL). La diferencia principal entre ellos es el estado físico del mismo, en el primer caso, el combustible está en estado de gas comprimido y por ello, se necesitan depósitos especiales para mantener la presión de forma constante, mientras que en el segundo caso, el gas se encuentra en estado líquido y también es necesario disponer de tanques especiales para su almacenamiento en el vehículo.

Concretamente, el GNL es gas natural que ha sido sometido a un proceso de licuefacción, que consiste en llevarlo a una temperatura aproximada de -162 °C con lo que se consigue reducir su volumen en 600 veces respecto al estado gas, lo que lo hace más práctico para ser almacenado y transportado. Esto permite transportar una cantidad importante de gas en buques denominados metaneros que, para largas distancias (normalmente más de 3.000 km) vale la pena su aplicación (Fuente: J. Marcelo Arias, Instituto Argentino de la Energía, 2006).

En cuanto a sus aplicaciones, actualmente, el GNC se está aplicando en vehículos privados y de transporte público cada vez más (especialmente en el continente americano) mientras que en Europa se apuesta por su aplicación sobre todo en el transporte público, especialmente autobuses urbanos y taxis, por su reducción de los contaminantes en estas áreas de acumulación elevada de población, en cumplimiento con las Directivas Europeas, sobre reducción progresiva de la contaminación en áreas urbanas. Su aplicación es una realidad desde el año 2004 en una amplia variedad de ciudades en el caso de autobuses, mientras que los taxis comenzaron a aplicar este sistema en el año 2010 y, frecuentemente como complemento del sistema híbrido (sustituyendo el combustible común del motor térmico por el GNC).

Así mismo, en ciudades de países como India, Pakistán y otros del Sudeste asiático, el servicio de transporte público conformado por los "Autorickshaw", vehículos triciclos motorizados que prestan servicios de taxi, también son traccionados por el sistema de GNC, promoviéndose cada vez más su utilización para reducir la emisión de contaminantes.

En el caso del GNL, su utilización hasta el momento se ha limitado más al transporte de mercancías (y en casos concretos transporte colectivo de pasajeros) debido a que su coste es algo más elevado que el GNC (debido al costo añadido por el proceso de licuefacción), así como las instalaciones requeridas para su almacenamiento en vehículos y, por tanto, vale la pena para largos recorridos de carretera y gran tonelaje, más frecuentes en el sector de carga, así como en el ámbito marítimo. (Fuente: Intermepresas.net).

La configuración normal de vehículos de transporte carretero para que puedan utilizar gas natural como combustible, se presenta de las siguientes formas:

- Vehículo en origen con motor de ciclo Otto de funcionamiento puro con gas (100% gas como combustible). Este motor desarrolla menores rendimientos que la otra opción aunque normalmente se aplica con gas licuado para desarrollar una autonomía mayor, pero conlleva un coste inicial mayor y mayores gastos de mantenimiento (ver párrafos sobre *mantenimiento*).
- Vehículo en origen diesel/gasolina, con transformación para funcionar con el sistema dual-fuel (vehículos pesados, carga/pasajeros) o bi-fuel (vehículos ligeros). Este caso se aplica más frecuentemente por obtener mejores rendimientos y se detalla a continuación.

El caso bi-fuel (gasolina/GLP o gasolina/GNC)

Este caso consiste en incorporar a un vehículo ligero convencional, de gasolina, un equipo que incluye una centralita de gas, que recoge los datos de la centralita original del vehículo y realiza los cambios de combustible de forma automática, una gasificadora, inyectores y depósito o depósitos, así como cableado y boca de carga. Normalmente este sistema se aplica con gas natural comprimido, por la mayor sencillez de los sistemas de almacenaje y consecuente menor ocupación de espacio en el vehículo.

De esta forma, el vehículo puede circular indistintamente con ambos combustibles, lo que aumenta su autonomía. El ahorro económico va desde un 40% al 52% dependiendo del tipo de gas y vehículo. Se mejoran las emisiones en todos sus parámetros: el CO₂ un 10-22% según tipo de gas y vehículo. Y CO, NO_x, PM., en porcentajes que pueden llegar, como en el caso de las partículas emitidas hasta el 99%.

El caso dual-fuel (vehículos pesados)

La transformación de vehículos pesados (camiones y autobuses), para utilizar GNC o GNL (GLV), consiste en sustituir diésel por GAS, en porcentajes que oscilan entre un 57 y un 65 % en el caso del GNV, dependiendo de la calidad del gas. Como ocurre con los ligeros, algunas marcas como Volvo, incorporan en sus vehículos con sistema dual, equipos que han sido desarrollados por un fabricante ajeno a la marca.

Los sistemas más novedosos en este sentido, desarrollados por equipos especializados, están formados por los siguientes elementos:

- Depósitos, en el caso del GNC suelen ser de composite, ya que su poco peso no altera significativamente las taras de los camiones y autobuses tanto urbanos como interurbanos.
- Reductor – gasificador, hace que el gas pase de 200 a 2,8 bares. Trabaja aproximadamente a 2.500 milibares.
- Gasificador, hace que la temperatura del gas suba a 65° aproximadamente y entre en los inyectores gasificado, mejorando la mezcla con el aire de la admisión y aprovechando al máximo su poder energético.
- Rampa de inyectores y toma de admisión
- Testigo de seguridad, para la desconexión del gas en el caso de sobrecalentamiento en la cámara. La señal se toma en el colector del escape cortando a una temperatura de 900°.
- Centralita, desarrollada para trabajar con las señales de la centralita original del vehículo, sustituyendo diésel por gas.

El consumo dual es la suma de litros de diésel más kilos de gas consumidos y es menor que el consumo general de diésel, lo que es fácil de entender por el principio de potencia igual a energía aportada y teniendo en cuenta que un kilo de GN equivale a 1,28 litros de diésel. Si el consumo fuese igual o superior se estaría produciendo un exceso de potencia o una pérdida de rendimiento. (fuente: GNC y GNL en automoción, Ferrosite-GLV, 2014).

Para el caso de transporte fluvial/marítimo, esta tecnología se encuentra considerablemente generalizada, comenzando en los propios “metaneros” (buques destinados al transporte de GNL en tanques), mediante la aplicación de turbinas de vapor generado por el propio gas, y continuando en el resto de ámbito de transporte marítimo, especialmente en transporte de mercancías y actualmente se está introduciendo en el de pasajeros (ferries). Esta tecnología es muy variable en el ámbito marítimo/fluvial puesto que se tiende a hibridarla o dualizarla con la tecnología diesel, eléctrica, o incluso con el tradicional vapor de agua. Según los fabricantes, el motor de 4 tiempos de gas empleado normalmente posee un 9% más de eficiencia energética que el convencional diesel (fuente: El gas natural como combustible marino, Bureau Veritas, 2014).

Ya se han desarrollado con éxito transformaciones de barcos con motores convencionales de 12 metros de eslora y de hasta 600 CV en sistema bi-fuel (gasolina+ gas licuado). En el caso de barcos de más de 24 metros de eslora es necesario realizar un estudio de colocación de los depósitos de gas para determinar la flotabilidad. Este estudio tiene un coste importante que anula la rentabilidad de la transformación por el momento.

En este sentido, en la Unión Europea, la infraestructura para que los barcos reposten GNL se halla en una fase muy inicial: solo Suecia dispone de una instalación de reaprovisionamiento de GNL para buques marítimos actualmente, mientras que otros Estados miembros disponen de proyectos. La Comisión Europea propone que se instalen estaciones para repostar GNL en los 139 puertos marítimos y fluviales de la red principal transeuropea entre 2013 y 2020-2025. No se trata de terminales importantes de gas, sino de estaciones para repostar fijas o móviles. Incluye a la totalidad de puertos importantes de la UE (fuente: European Commission Press, 2013).

En el caso de los buques para transporte marítimo/fluvial, su utilización posee las siguientes ventajas desde el punto de vista medioambiental y económico (fuente: utilización de GNL como combustible en buques, Cotenaval, 2012):

- Importante reducción de los costes de combustible, dado el mercado actual de precios de GNL.
- Genera una importante disminución de los costes de mantenimiento.
- Por el contrario, la inversión tecnológica es mayor, pero de pronta amortización en el ciclo de consumo.

En cuanto a **normativa** relativa a ello, al ser una de las primeras alternativas consolidadas al combustible tradicional para el transporte ya existe normativa internacional que regula especialmente los condicionantes de seguridad en la instalación y uso de estos sistemas, además hay varios países que también han desarrollado normativa al respecto como los siguientes:

- Norma ISO/TC 22 Propulsión eléctrica de vehículos y vehículos impulsados por combustibles gaseosos (Comité Técnico vehículos de rodado)

- Normas IMO para transporte marítimo. *Guidelines on safety for natural gas-fuelled engine installations in ships*
- UE. Reglamentos UNECE R115, R110 (Gases licuados y comprimidos respectivamente)
- UE. EN-13423 - Operación de vehículos que funcionan con GNC
- UE. EN-13638 - Estaciones de servicio GNC para vehículos a motor
- UE. EN-13945 - Estaciones de servicio GNC para vehículos a motor / Aparatos de llenado de vehículos
- UE. EN-1776 - Suministro de gas. Sistemas de medición para GN
- Perú. Decreto Supremo N° 057-2008-EM. Reglamento de Comercialización de Gas Natural Comprimido (GNC) y Gas Natural Licuefactado (GNL)
- Argentina. La Entidad *Cámara Argentina del Gas Natural Comprimido* establece políticas y lineamientos para la legislación y normativa. Normativas NAG: 415; 416; 417; 418; 419; 441; 443; 444; NAG-E401-409.
- USA. NFPA-52 - GNC para vehículos aplicable al llenado
- USA. NFPA-57 - GNL para vehículos aplicable al llenado
- USA. NFPA-59 - Producción, almacenaje y manipulación del GNL
- USA. SAE J1616 - Recomendaciones prácticas para vehículos con GNC
- USA. SAE J2323 - Recomendaciones prácticas para camiones pesados con GNL
- USA. SAE J2406 - Recomendaciones prácticas para camiones pesados con GNC
- USA. CSA B108-99 - Estaciones de llenado con GN
- USA. CSA B109-01 - Sistemas de llenado de GN en vehículos
- USA. ANSI NGV - Aplicables al llenado, acoples y suministro (dispenser)
- España. Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.
- España. Real Decreto 866/2010 de tramitación de las reformas de vehículos.
- España. Instrucción Técnica complementaria MI-IP04 instalaciones para suministro a vehículos (Anexo al Decreto 1523/1999)

En cuanto a la capacidad de transporte, ésta es similar a la del vehículo con motor de combustión tradicional, por ello se está aplicando ampliamente en muchos países como alternativa más limpia y eficiente al petróleo. De hecho, en muchos casos, los propios vehículos de motor de combustión se pueden adaptar para su utilización con GNC o GNL, con un equipo específico de sustitución e incorporando al vehículo un depósito para almacenamiento a 200 bares (en el caso concreto de GNC).

Lo mismo ocurre con la autonomía de los vehículos siendo muy similar a las de los tradicionales (Fuente de datos: Gas Natural Fenosa).

En lo referido a emisión de gases contaminantes, su combustión genera menor cantidad, reduciéndose considerablemente la contaminación del ambiente por Monóxido de Carbono (CO) y Óxidos de Nitrógeno (NO_x), así como partículas en suspensión cuya emisión es casi nula. No es tan eficiente en los gases de efecto invernadero, cuya reducción respecto al combustible tradicional es de un 15-20% (CO₂) (Fuente de datos: Eficiencia energética, en el Transporte, S.Gil UNSAM- ENARGAS y EMT Valencia).

Se han realizado varios estudios sobre la comparación de emisiones en transporte marítimo (junto con el aéreo son los modos que más contaminantes emiten), entre el combustible convencional y el gas natural. Los resultados de uno de ellos, se muestran a continuación en forma gráfica.

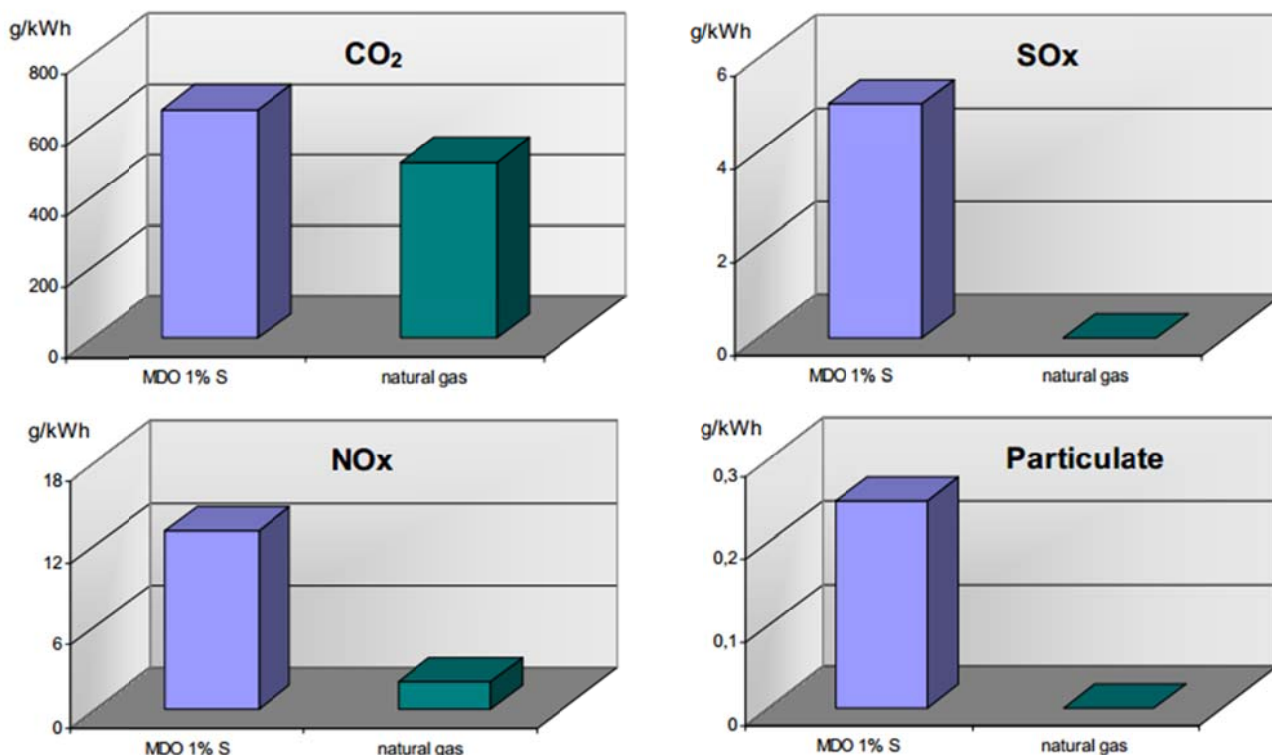


Imagen 9. Comparación de principales emisiones entre combustible convencional (MDO) y gas natural en su utilización en buques de transporte marítimo. Fuente: Asociación de Ing. Navales de España, 2012

En cuanto a los costos de la tecnología, en general, un vehículo tipo turismo con combustible de GNC o GNL es un 25% más caro que el vehículo homólogo tradicional. Y, en el caso de la adaptación de una instalación existente, el coste aproximado del equipo es de unos 2.000 USD, aunque requieren de la instalación por parte de profesionales autorizados según las regulaciones vigentes internacionales o nacionales, en cada caso.

Los datos principales de rendimientos y costes obtenidos para vehículos impulsados por Gas Natural (contenidos en la base de datos de la sección 6 del presente Informe) han sido extraídos en su mayoría del Estudio realizado en 2014 por el *Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional Universidad de los Andes Bogotá*, Colombia.

Es importante destacar, en cuanto a costes de explotación de la tecnología, que el consumo de GNC (aproximadamente un 25 % más), para un vehículo tipo dado, es mayor que el de diesel o gasolina pero con el mercado en las circunstancias actuales (2014) compensa el precio mucho más reducido de este combustible.

Según el club automovilístico alemán ADAC de 2010, el *Fiat Panda Natural Power* (alimentado con GNC) es el turismo más económico del mercado. Se han probado más de 200 coches, de distintas

categorías, buscando la mayor autonomía posible con 30 euros (aprox. 37.20 USD) en carburante: gasolina, gasóleo, GNC, híbrida, etc.

El vehículo consiguió recorrer 724 km con esa carga de gas natural comprimido, lo cual equivale a **5,13 USD/100 km** (considerando precios europeos de 2014). Con este estudio se confirma que el GNC es combustible de automoción más económico para este mercado.

Este vehículo lleva **72 litros** de GNC (12 kg) y un depósito de gasolina de 30 litros. El motor es un 1.2 8v de 60 CV, que con GNC (fuente: ADAC).

En lo refiero a datos de vehículos pesados para carga, puesto que es donde más se está aplicando este tipo de tecnología (especialmente en su modalidad licuada). Para vehículos de mercancías, según el fabricante alemán Mercedes-Benz (Fuente: Hacia un transporte sostenible. Mercedes Benz Trucks, 2012), el GNC y GNL es el futuro para el transporte y distribución de mercancías en áreas urbanas consiguiendo una reducción de emisiones considerable. En el siguiente gráfico se comparan los consumos de un camión diesel ordinario y el mismo con el sistema dual-fuel GNC.

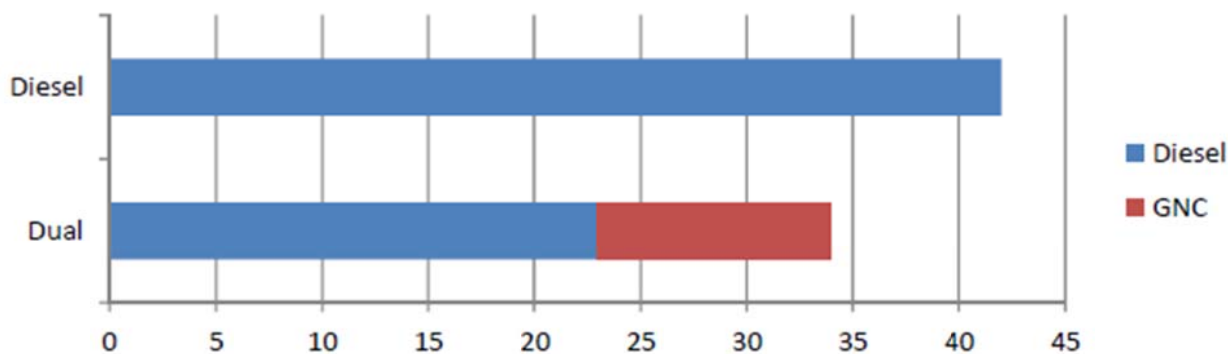


Imagen 10. Comparación entre consumos de camión diesel y dual con GNC. Fuente: Ferrosite, 2014

El diesel tendría un consumo de 42 litros, el dual de 23 l (diesel) + 11 kg (GNC), con un porcentaje de reducción de diesel del 45.2 % y relación de sustitución $\text{lt(diesel)/kg (GNC)} = 1.73$.

Para el caso de la tecnología dual-fuel a los autobuses urbanos para pasajeros, la disminución de consumo estaría en este rango:

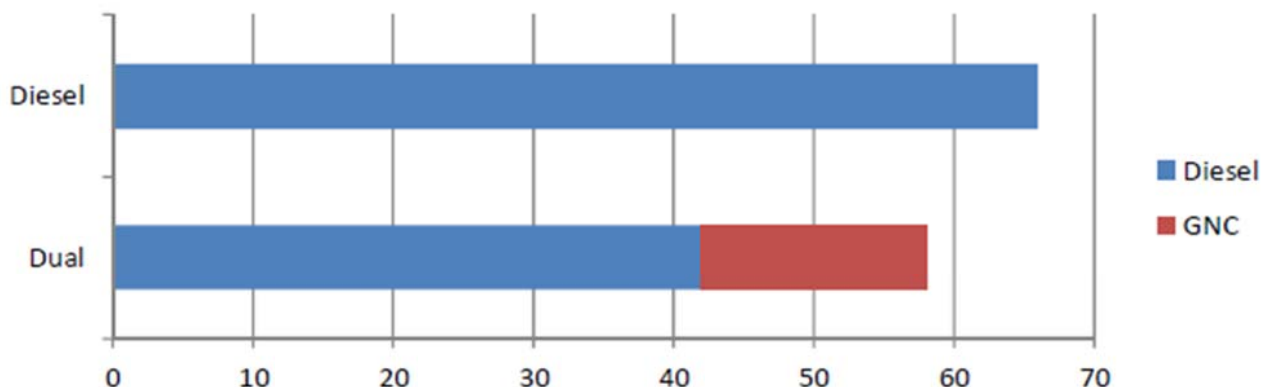


Imagen 11. Comparación entre consumos de autobús diesel y dual con GNC. Fuente: Ferrosite, 2014

En este caso, el diesel tendría un consumo de 66 litros, el dual de 42 l (diesel) + 16 kg (GNC), con un porcentaje de reducción de diesel del 36.3 % y relación de sustitución $\text{lt}(\text{diesel})/\text{kg}(\text{GNC}) = 1.5$.

En cuanto al **mantenimiento** de vehículos, es necesario diferenciar entre vehículos de gas puro (en origen) y vehículos dual-fuel o bi-fuel, normalmente transformados desde uno diesel ordinario. En el segundo caso el coste global de mantenimiento es similar a su homólogo con combustible derivado del petróleo. La combustión del gas es más limpia, deja menos depósitos carbonosos en la combustión y permite que el aceite del motor se mantenga limpio durante más tiempo. En contra, la falta de lubricación del GNC con respecto a la gasolina puede producir un desgaste prematuro de las válvulas. Con respecto a un diésel, un vehículo gasolina con gas como combustible tiene por lo general menos averías y menos costosas por la ausencia de elementos mecánicos complejos como el turbo, la bomba de combustible de alta presión, etc. En caso de avería los componentes que forman el sistema de gas son sencillos y por tanto su coste es algo más reducido. Se le añade el coste de revisión de instalación de GNC cada 4 años y cambio del filtro de gas. En general, según algunos fabricantes y suministradores, se puede decir que se incrementa la vida útil del motor, con una mayor prolongación de los periodos de programación de los cambios de aceites y cambios de bujías (fuente: ferrosite-glv). En el caso de un vehículo con motor de ciclo Otto en origen, para gas (normalmente para GNL), los costes de mantenimiento se disparan, especialmente porque la instalación de mantenimiento del gas en el vehículo es mucho más compleja (se refiere a párrafos siguientes).

Normalmente el plazo para las revisiones periódicas de un coche a GNC es el mismo que para un coche de gasolina, dependerá de cada modelo, pero será alrededor de cada 15.000 o 20.000 km. El aceite del motor y el filtro de aire de admisión deben sustituirse puntualmente. Hay un filtro de gas que también debe sustituirse (cada 90.000 km normalmente). (Fuente: Gas Natural Vehicular)

Cada cuatro años (regulación europea ECE R 110) es necesaria una revisión del tanque y de las conducciones de gas conforme al reglamento, es importante que no haya fugas y que las válvulas de seguridad funcionen perfectamente.

En cuanto a los **tanques** de acumulación de GNC en los automóviles, son quizás el punto más delicado. Al estar sometidos a una presión alta (200 bares), y verse sometidos a cambios de presión por descarga y carga, o cambios de temperatura, sufren más fatiga y es importante tener presente que tienen fecha de caducidad. En general, la vida útil de los tanques depende de la homologación y norma bajo la que se fabricaron.

En el caso de GNL, los tanques son más complejos puesto que deben mantener la temperatura a -162°C para mantener el gas natural en estado líquido, siendo más costosos (del orden de 15,000 USD) y requiriendo además un mayor mantenimiento (en caso de no utilizarse en un plazo determinado puede producirse degradación del producto). Estos tanques de almacenamiento suelen ser de tipo toroidal o cilíndrico y de un tamaño considerable, demasiado para su incorporación en turismos de tipo ordinario (Fuente: Ferrosite). Es por ello que el gas natural de tipo licuado no se suele aplicar a turismos si no, en transporte terrestre de tipo carga (camiones de gran tonelaje y recorrido) y de medios de transporte marítimo/fluvial también de gran tonelaje, porque su coste hace que únicamente sea ventajoso para este tipo de transporte.

El costo incremental de adquisición de camiones traccionados en origen con GNL se estima en 54,000 USD, con lo que el costo global de estos vehículos pesados se estima entre 86,000 USD y 160,000 USD (fuente: *Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional Universidad de los Andes Bogotá, Colombia*. 2014).

En Europa la regulación ECE R 110 especifica que los tanques de acumulación de GNC en automóviles tendrán una **vida útil máxima de 20 años**. Si los tanques se homologaron antes de esta norma, tendrán una vida útil máxima de 15 años, y en última instancia conforme a la homologación que realizara el fabricante en su día, que depende del material y construcción del tanque. El plazo se cuenta desde la entrada en servicio del tanque. Para GNL, la norma específica en Europa es el reglamento R115, que también establece plazos.

Estos valores de vida útil son similares a los que hay en EE.UU., allí los modelos más antiguos tienen tanques de 15 años, pero se fueron modificando las condiciones y exigencias de la homologación y se pasó a 20 años, y con la última norma a 25 años (obviamente una vida útil mayor implica mayores exigencias de fabricación, calidad y seguridad, que permitan tener esa mayor longevidad) (Fuente: gastos de vehículos de GNC).

Es decir, que el tanque en principio y para la mayoría de usuarios, tendrá una vida útil igual a la del propio coche, y que en revisiones se gasta algo más que en un coche de gasolina (algo más), pero queda más que compensado con el muy inferior coste de uso. El coste total de mantenimiento se estima en unos 5.000 USD/120.000 km (Fuente: Audatex). En el caso de vehículos de pasajeros de uso individual, la Universidad de los Andes, en Bogotá (Colombia) estima que el costo de mantenimiento de vehículos con GNC es de 2,300 USD/año.

En cuanto a la **infraestructura** requerida, básicamente, ésta consta de surtidores de GNC o de GNL a lo largo de la región en la que se utilizan los vehículos. En principio, aun no hay una normativa internacional unificada, además de la derivada de seguridad frente a incendios, explosiones, etc. que regule la distribución de estos surtidores o que indique un ratio en función del número de vehículos a alimentar como ocurre con las gasolineras convencionales. En el caso de muchos países de América (Estados Unidos, Canadá, Argentina, Colombia, Rep. Dominicana, etc.) y de la UE sí que han desarrollado **normativa específica** en este sentido, sobre todo relacionadas con los condicionantes de seguridad como por ejemplo, las siguientes:

- CSA B108-99 - Natural Gas Fuelling Stations Installation Code
- CSA B109-01 - Sistemas de llenado de GN en vehículos
- Reglamento Técnico de Colombia del 26 de julio de 2006 del Ministerio de Minas y Energía sobre la Regulación de Estaciones de Servicio que suministran Gas Natural Comprimido para uso vehicular
- Resolución 26/2009. Requisitos para el Diseño, Construcción y Operación de Estaciones de Expendio de gas natural vehicular, ampliación y/o modificación de estaciones de servicios existentes y consumidores directos de GNV. República Dominicana
- Norma Oficial Mexicana NOM-010-SECRE-2002, Gas natural comprimido para uso automotor. Requisitos mínimos de seguridad para estaciones de servicio

A nivel europeo, en estos momentos más de 1 millón de vehículos utilizan este combustible en la UE, el 0,5 por ciento de la flota automovilística, el sector quiere multiplicar por diez esa cifra para 2020. Los países de la Unión donde más vehículos de GNC circulan son Italia y Alemania. La propuesta de la CE es que en 2020 haya **estaciones accesibles al público cada 150 km** como máximo. Estos cambios no suponen ningún gasto extra para los presupuestos públicos, correrían a cargo del sector privado que ya cuenta con ayuda de los fondos RTE-T, los fondos de cohesión y los estructurales de la UE (fuente: Euroexpress, 2013).

Varios Estados de la UE ya han desarrollado también este tipo de legislación, como es el caso de España, con el *Real Decreto 919/2006*, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.

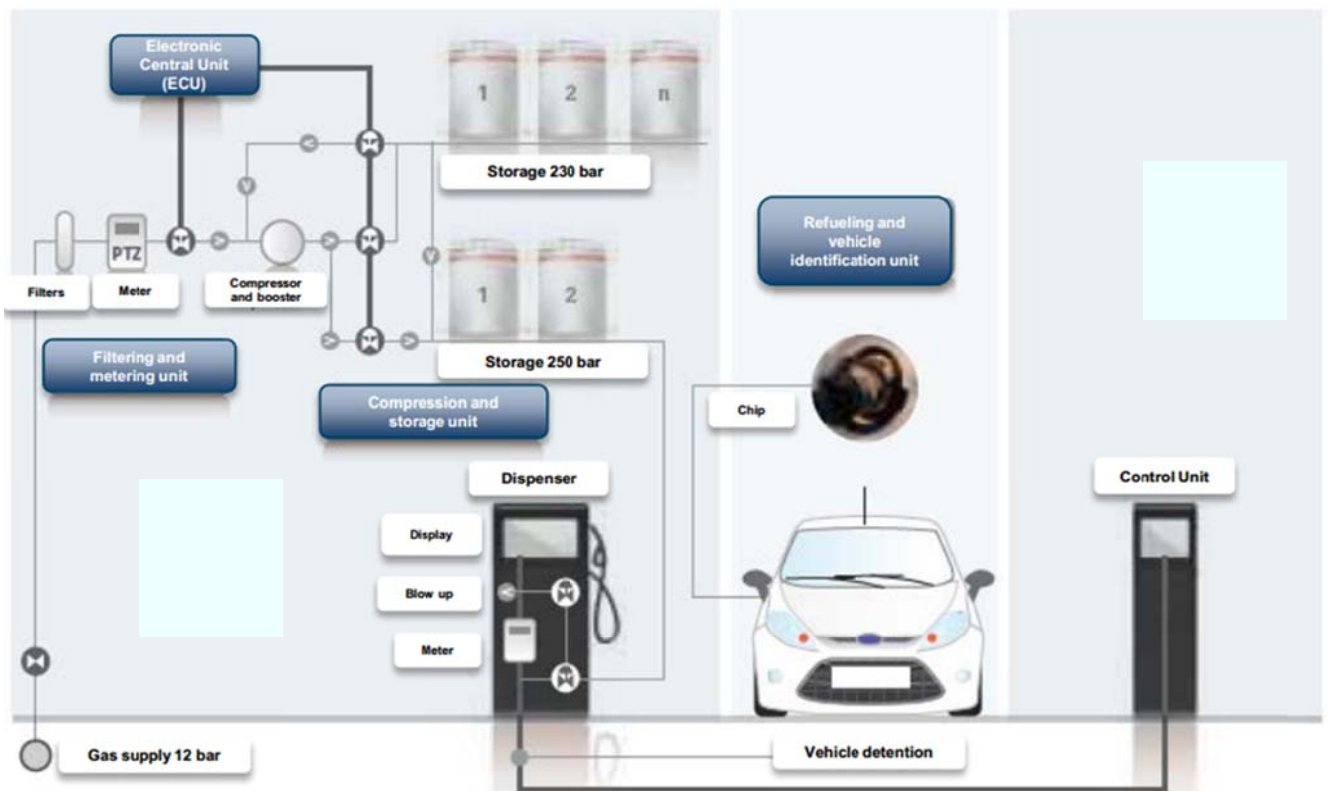


Imagen 12. Esquema general de una instalación global de GNC para recarga de vehículos. Fuente: José Ramón Freire López. Gas Natural Fenosa, 2014

De este modo, se han generalizado en gran parte del mundo **dos opciones** en este sentido:

- Si se dispone de gasoductos en buen estado, con las licencias correspondientes es posible conectar directamente con los mismos y transportar mediante tuberías el gas en su estado natural hasta las correspondientes estaciones y surtidores.
- Si se importa gas en estado licuado, normalmente se traslada en camiones directamente hasta las mismas estaciones de servicio, en las que necesariamente debe haber una torre de almacenamiento a -162°C para su conservación, además de los equipos de mantenimiento que

requiere (no se suelen ubicar en entornos urbanos muy consolidados por motivos de espacio o paisajismo). De esa torre, el gas puede suministrarse directamente en surtidores como GNL o transformarse de nuevo a estado gaseoso, a un surtidor en GNC.

También existe la posibilidad de implementar **estaciones de carga móviles** que tienen un coste mucho menor y para fases provisionales de introducción de la tecnología en el mercado, resultan muy adecuadas, tanto para GNL como para GNC (imagen 14).

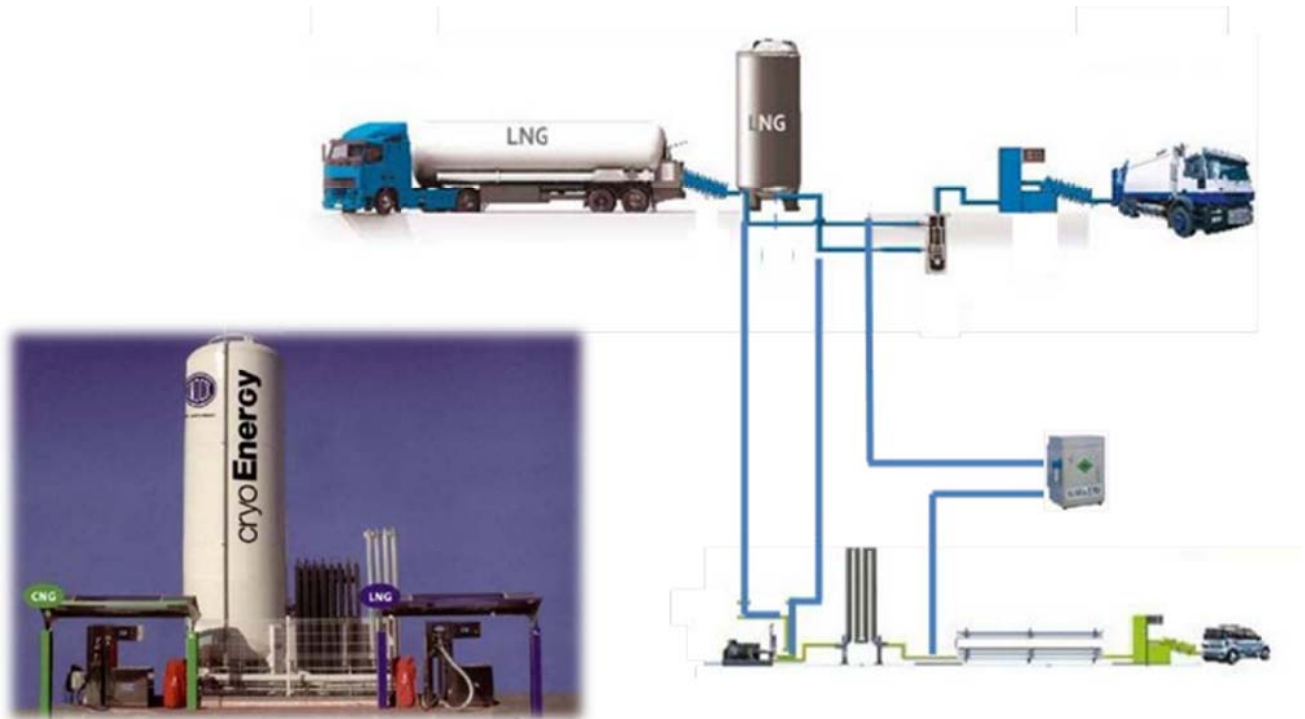


Imagen 13. Esquema general de una instalación global de GNL con torre de licuefacción para recarga de vehículos. Fuente: José Ramón Freire López. Gas Natural Fenosa, 2014



Imagen 14. Fotografía de una estación móvil de recarga de gas natural. Fuente: José Ramón Freire López. Gas Natural Fenosa, 2014

En el caso de los **ratios de infraestructuras** (surtidores de GNC/GNL) en función número de vehículos de este tipo (demanda), éstos poseen una **elevada variabilidad entre diferentes países**, no especificándose una normativa concreta o recomendación para ello en los países consultados en el presente estudio. Se dispone de los siguientes datos de ratios globales por país, que como se observa, son muy variables, puesto que dependen del nivel de desarrollo económico del país, del nivel de implantación de la tecnología en el mismo, de los recursos energéticos disponibles, etc. (fuente de datos: agas21)

- Argentina posee un ratio global medio aproximado de: 1 surtidor / 830 vehículos GNC
- Italia con un ratio global aproximado de: 1 surtidor / 700 vehículos GNC
- Alemania con un ratio global aproximado de: 1 surtidor / 85 vehículos GNC
- Francia posee un ratio medio global de: 1 surtidor / 81 vehículos GNC
- Holanda con un ratio global aproximado de: 1 surtidor / 1,150 vehículos GNC
- España se impuso como objetivo alcanzar en 2010 el ratio: 1 surtidor / 400 vehículos GNC

3.2.2. Tecnología de motor de combustión con biocombustibles (agrocombustibles)

Los biocarburantes o agrocarrurantes están constituidos por una mezcla de sustancias orgánicas que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna. Deriva de la biomasa, materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía, concretamente se aprovechan azúcares y aceites de origen vegetal.

La implementación de estos compuestos para su utilización en medios de transporte, ya sean colectivos o de tipo individual, comenzó como adición a los combustibles tradicionales: gasolina y gasoil en proporciones determinadas, y su utilización se hizo extensiva especialmente en vehículos de carga, concretamente el compuesto biodiesel, uno de los más comunes.

La mayoría de vehículos gasolina o diesel pueden utilizarse con biocombustibles, algunos ejemplos de modelos existentes americanos son el Dodge Ram 2500, Chevrolet Silverado de GM o el Ford F-150, así como en Europa los Volkswagen Touareg, Jetta, Mercedes Benz R320 o el BMW 335d.

En este sentido, los agrocarrurantes más utilizados son los siguientes:

- Bioetanol por fermentación alcohólica de azúcares de diversas plantas como la caña de azúcar, la remolacha o los cereales. En 2006, Estados Unidos fue el principal productor de bioetanol (36% de la producción mundial), Brasil representó el 33,3%, China el 7,5%, la India el 3,7%, Francia el 1,9% y Alemania el 1,5%. La producción total de 2006 alcanzó 55 mil millones de litros. En el año 2013 Estados Unidos produjo 50391.4 millones de litros de este combustible. (fuente: *Industry Statistics: Annual World Ethanol Production by Country, Renewable Fuel Association*)
- Biodiesel es un combustible sintético similar al diesel, que se produce a partir de aceites vegetales, grasas animales o grasa de cocina reciclada. Puede utilizarse directamente como combustible, lo que requiere introducir algunas modificaciones en el motor, o mezclado con diesel de petróleo y utilizado en motores diesel sin modificación, o con ligeras modificaciones del motor. El biodiesel se obtiene mediante un proceso químico denominado transesterificación, del que se derivan dos productos, Éster metílico (nombre químico del biodiesel) y glicerina, un

valioso subproducto utilizado para fabricar jabones y otros productos (definición de las Naciones Unidas).

En la siguiente tabla se muestran los rendimientos aproximados en 2009, a nivel mundial, de los cultivos específicos para la producción de estos dos biocombustibles.

Cultivo	Rendimiento	Tipo
	(L/ha/año)	
Palma	5.500	biodiésel
Cocotero	4.200	biodiésel
Ricino	2600	biodiésel
Aguacate	2460	biodiésel
Jatropha	1560	biodiésel
Colza	1100	biodiésel
Soja	840	biodiésel
Caña de azúcar	9000	bioetanol
Remolacha	5.000	bioetanol
Mandioca	4500	bioetanol
Sorgo dulce	4400	bioetanol
Maíz	3.200	bioetanol

Tabla 4. Rendimiento de cultivos para la producción de los dos principales biocombustibles. Fuente: Empresarización de las actividades agropecuarias. Ministerio de Agricultura, Colombia. 2009

Si nos centramos por ejemplo en el maíz, en Estados Unidos, el etanol se produce a partir de este cereal, con un mayor consumo de combustibles fósiles en el proceso de producción y un saldo energético inferior al del etanol producido fuera de los Estados Unidos a partir de caña de azúcar. En 2005 se utilizó para producir etanol el 14,4% de la cosecha total de maíz del país, y ha seguido creciendo desde entonces.

Si se analiza la principal normativa internacional, se encuentra una variedad mayor que en otras tecnologías analizadas, especialmente a nivel del continente americano.

- Europa. Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003 relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte
- Europa. Norma EN 590 describe las propiedades físicas que han de presentar todos los combustibles diésel que se vendan en la UE, Islandia, Noruega o Suiza. Permite una mezcla de hasta un 5% de biodiesel con el DERV "normal", es decir, una proporción de 95/5. En algunos países, como Francia, todo el diésel que se vende contiene esa mezcla de 95/5; 2)
- Europa. Norma EN14214 es la norma para el biodiesel elaborada por el Comité Europeo de Normalización (CEN) y se basa en términos generales en la norma alemana DIN51606.
- Alemania. Norma DIN 51606 es una norma alemana para el biodiesel que se considera la más estricta actualmente existente y que casi todos los fabricantes de vehículos aceptan como criterio de cumplimiento de los requisitos más estrictos. La mayor parte del biodiesel producido comercialmente cumple o excede esa norma.

- USA. Norma ASTM D6751-08, especificación para las existencias de mezclas de combustible biodiésel (B100) para combustibles de destilación intermedia, que se modificó para incluir un requisito que controle las combinaciones secundarias y que brinda una información más precisa sobre cómo funcionará el combustible cuando el ambiente está frío.
- USA. Norma ASTM D975-08a, especificación para el fueloil para los motores diésel (que se usa en aplicaciones diésel convencionales y todo terreno), se modificó y ahora permite hasta un 5% de biodiésel. Esto permite que las mezclas B5 se traten de la misma manera que el diésel convencional a efectos de la realización de ensayos.
- USA. Norma ASTM D396-08b, especificación para el fueloil (usado en sistemas de calefacción y en calderas), que se modificó y ahora permite hasta un 5% de biodiésel. Como la norma D975, esta modificación permite que las mezclas B5 se traten de la misma manera que el fueloil convencional a efectos de la realización de ensayos.
- USA. Norma ASTM D7467-08, especificación para las mezclas de biodiésel (B6 a B20) de fueloil para motores diésel, es una especificación totalmente nueva que rige las propiedades de la mezclas que contienen entre 6% y 20% de biodiésel para ser usadas en motores diésel convencionales y todo terreno.

De la normativa internacional existente al respecto se desprende el grado de utilización e implantación que los agrocombustibles tienen en América, mientras que en Europa no se interesan tanto por este tipo de carburantes, al menos no la medida en que lo hacen por las tecnologías híbridas (que se tratan más adelante en el documento).

En cuanto a **emisiones** de estos tipos de combustibles, aunque existen estimaciones muy diversas, en la mayoría de los estudios se llega a la conclusión de que, en la medida que depende de las materias primas y de la energía utilizadas para refinar los combustibles, tanto el bioetanol como el biodiesel permiten obtener importantes reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la gasolina y el diesel. La producción de las materias primas y su transformación en combustibles de uso final son cada vez más eficientes desde el punto de vista de las emisiones en equivalente en CO₂, especialmente en lo que se refiere al etanol derivado de la caña de azúcar y de materias lignocelulósicas.

Los biocombustibles ofrecen ventajas desde el punto de vista de la calidad del aire tanto si se utilizan como combustibles puros como si se mezclan con derivados del petróleo. Entre esas ventajas se cuenta la reducción de emisiones de CO₂, de SO_x y de compuestos orgánicos volátiles. El etanol y el biodiesel pueden utilizarse para reforzar determinadas propiedades de la gasolina y del diesel, mejorando así el rendimiento del combustible.

Para obtener datos aproximativos fiables de emisiones, en relación con consumos y rendimientos energéticos se ha tenido acceso al estudio *"Influencia del contenido de biodiesel en gasóleo en el rendimiento térmico de un motor diesel ligero ensayado en tráfico real"*. Fonseca González, N., Casanova Kindelán, J., Betancourt Astete, R., VII Congreso Nacional de ingeniería termodinámica, Bilbao, España, 2011".

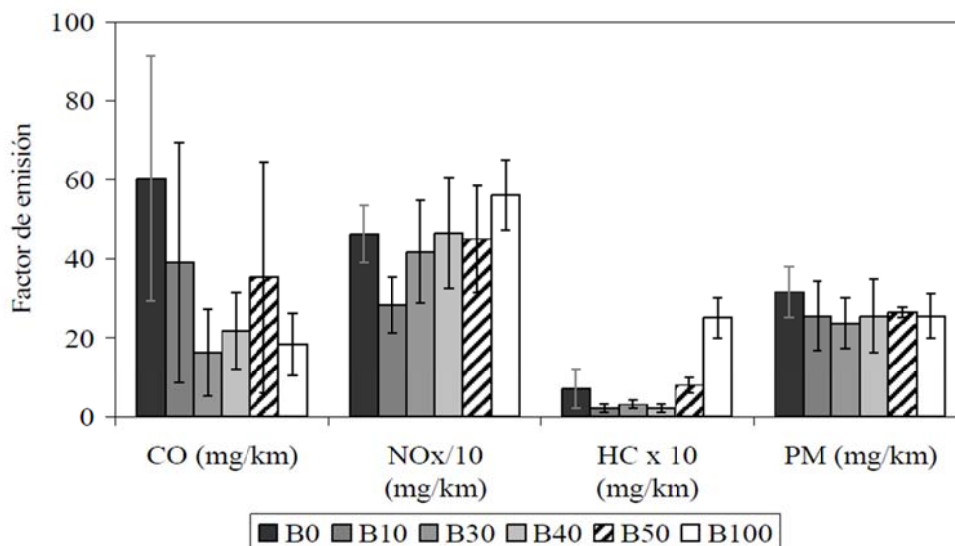
En este estudio, realizado a partir de ensayos experimentales, se analizan diferentes proporciones de biodiesel en un vehículo tipo y sus consecuencias a nivel de datos de emisiones, consumos y rendimientos. Concretamente, la situación óptima a nivel de consumos energéticos y emisiones de CO₂,

es la situación de proporción denominada B30, que supone tener un 28,55% de biodiesel con el resto de combustible diesel. Sin embargo, si la proporción de biodiesel continua aumentando, se tienen que los valores de emisión de óxidos de Carbono (CO y CO₂) a la atmósfera se elevan considerablemente, así como el consumo de combustible (en menor medida). Es por ello que, en este estudio, se analiza este caso óptimo (B30) en relación a la extracción de datos útiles para su comparación con el resto de tecnologías.

Para este caso, se tienen unos niveles de emisiones de:

- Emisiones de CO₂: 160 g/km
- Emisiones de CO: 0.018 g/km
- Emisiones de NO_x: 0.042 g/km
- Emisión de partículas: 0.025 g/km

Ello supone una reducción considerable respecto a los combustibles tradicionales para vehículos, especialmente en el gas tóxico CO, como se aprecia en la figura siguiente.



**Imagen 15. Emisiones en función del porcentaje de biodiesel (B0 - 0% de biodiesel, B100 - 100% de biodiesel).
Fuente: VII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica CEIT, 2011**

En cuanto a consumos, se ha demostrado que éstos se reducen en la situación B30 aunque no de forma muy llamativa (en la situación B0 se obtiene un 6,8 l/100km, mientras que en la situación B30 es de 6,3 l/100 km), con respecto a la situación de 0% o 100% de aplicación de biodiesel al combustible tradicional.

Teniendo en cuenta los datos, se presentan a continuación algunas ventajas de la utilización de estos biocombustibles:

- El almacenaje y transporte del combustible es más seguro que el del diésel de origen mineral gracias a un mayor punto de inflamación.
- Mejora el rendimiento de la combustión debido a un mayor número de Cetano.
- La lubricidad del biodiésel es mayor que la del diésel convencional, lo que alarga la vida de la bomba de inyección y de los inyectores.

- Disminución del ruido de funcionamiento del motor.
- Reducción del CO₂ emitido.
- Menores emisiones de partículas, de metales pesados, de hidrocarburos, de compuestos orgánicos volátiles (COV) y de monóxido de carbono (CO).

Ahorro energético. En un estudio realizado por el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) con biodiésel obtenido de aceites vegetales crudos revela que, en España, para biodiesel puro (B100) compuesto por aceite de soja importada (40%), de girasol nacional (10%), de palma importada (25%) y colza casi totalmente importada (25%), el balance energético sería:

- El biodiesel de aceites vegetales crudos permite un ahorro de energía primaria utilizada para la producción y distribución de un 45%, comparado con diésel fósil (teniendo en cuenta toda la cadena de procesos).
- El biodiesel de aceites vegetales usados permite un ahorro de energía primaria utilizada para la producción y distribución de un 69%, comparado con diésel fósil (teniendo en cuenta toda la cadena de procesos).

Estos porcentajes pueden variar en función de la materia prima utilizada.

Ahorro económico: los costes de producción del biodiesel son más caros que los costes de producción del diésel convencional. No obstante, debido a las ventajas medioambientales que el uso de estos combustibles suponen frente a los convencionales, en la actualidad los biocombustibles se benefician de un tipo cero en el Impuesto Especial de Hidrocarburos, lo que los hace, en la práctica, más o menos competitivos con el diésel convencional (dependiendo de la presión fiscal sobre los combustibles convencionales en cada país o región). Para dar una idea de esta diferencia de costes de producción, según el estudio de CIEMAT referido en el párrafo precedente, el coste de producción del etanol a partir de materia orgánica se estima (a nivel europeo) en 670 €/Tn, mientras que el coste del crudo es de 185 €/Tn, agregándole el coste de refinación que se estima en unos 80 €/Tn (fuente: EIA para el área europea, 2009), se tiene un coste aproximado de 280 €/Tn, lo que supone un 60 % menos que el coste de producción del etanol, aunque si se añaden las rebajas de impuestos de éste frente a aquél, la diferencia de coste, como se ha especificado, no es tan elevada, aunque depende de la presión fiscal en cada región/país (hay zonas en las que los impuestos sobre combustibles alcanzan en torno al 50% del precio final).

Se considera importante destacar en este informe que, varios estudios recientes y científicos han puesto en duda la promoción de los biocombustibles a gran escala. Las razones que alegan es que su producción supone la reducción de cultivos vegetales para la alimentación mundial, pudiendo generar además fluctuaciones del precio de estas producciones en función de demandas de países y empresas multinacionales, que a su vez afectarían al propio mercado alimenticio de algunos cereales, que en muchos casos, son la única base alimenticia en países del tercer mundo o en vías de desarrollo.

En cuanto al **mantenimiento** de vehículos que utilizan biocombustibles, ya sea en proporción del 100% como en una menor, las principales recomendaciones que se deben hacer para los mismos son las siguientes:

- Mayor frecuencia de sustitución de filtros de combustible, sobre todo al inicio del período de empleo del biocombustible.
- Introducción de filtros decantadores, en el caso de tener grandes depósitos de combustible.
- Tiempo de residencia del combustible en depósito no superior a un mes.
- Cambios de aceite más frecuentes (sólo con el empleo de altos porcentajes de biodiésel).
- Chequeo de fugas en circuito de combustible por posible deterioro de juntas de estanqueidad.
- Sustitución de juntas de caucho por juntas de viton o de caucho fluorado.

Ello supone que los costes de mantenimiento pueden suponer un pequeño incremento respecto a los gastos que genera un vehículo homólogo convencional (debido a la renovación de algunos fluidos más frecuentemente), de forma estimativa, aproximadamente un 10-15 % más.

En cuanto a la **infraestructura** asociada necesaria, esta tecnología requiere, como en el caso del gas natural, de surtidores adecuados para poder realizar la carga de combustible de forma ordinaria. Estos surtidores se encuentran normalizados desde hace unos años tanto a nivel europeo como americano. El coste medio estimado de estos surtidores es de unos 20,000 USD, incluyendo los costos de obra civil para su instalación así como la implementación del propio surtidor, acorde a los estándares de seguridad vigentes actualmente. Por la similitud del producto que almacenan y distribuyen con respecto a los de gasolina o diesel, su vida útil es similar a los de aquellos combustibles, y se estima en unos 20 años, siguiendo las pautas de mantenimiento preestablecidas y las inspecciones periódicas requeridas.

3.2.3. Tecnologías híbridas eléctrica/combustión tradicional

En los últimos años se ha desarrollado este tipo de tecnología para vehículos de carretera, ya sea para el transporte colectivo o individual de viajeros, público o privado.

A partir del año 2007, se comienzan a comercializar los primeros vehículos con esta tecnología con marcas como Ford, Chevrolet, Toyota, Honda, etc. con varios tipos diferentes de configuración de motores y mecánicas (para la elaboración de este informe se han utilizado algunos datos suministrados por distintos fabricantes).

Básicamente la tecnología híbrida de este tipo se basa en la disposición, dentro del vehículo, de dos motores uno de tracción eléctrica y otro de combustión interna que alternan su utilización para transmitir el movimiento a las ruedas en función de qué tipo se trate o en qué fase del movimiento se encuentre (arranque, aceleración, deceleración, etc.). Además, normalmente, se aprovecha el periodo de frenado o deceleración del motor de combustión para generar energía eléctrica (a través de un generador) y almacenarla en las baterías.

Es aplicable tanto a transportes individuales como colectivos (turismos, autobuses...) y su aplicabilidad ha crecido de forma exponencial en Europa, especialmente en áreas urbanas donde las velocidades no suelen superar los 60-80 km/h y por tanto, la mayor utilización de la componente eléctrica hace que se ahorre un porcentaje importante de combustible. De hecho, un 25% de los europeos declara que en su próximo vehículo privado, se decantará por un coche híbrido de este tipo (fuente: *Observatorio Cetelem Auto 2014*).

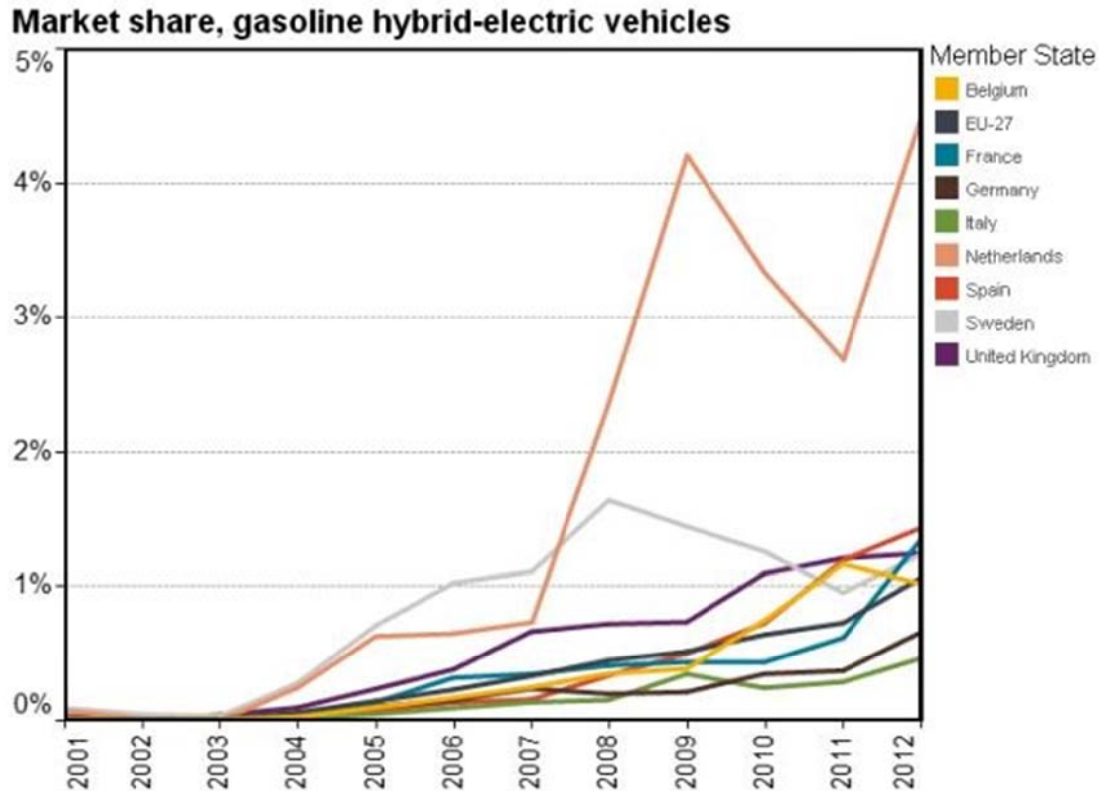


Imagen 16. Cuota de mercado de vehículos híbridos eléctrico-gasolina en los últimos años, por regiones. Fuente: Cetelem Auto 2014

Esta tecnología también se aplica en el modo ferroviario en el que hace mucho más tiempo se dispone de locomotoras de tipo híbrido para poder circular por trazados con catenaria disponible o no.

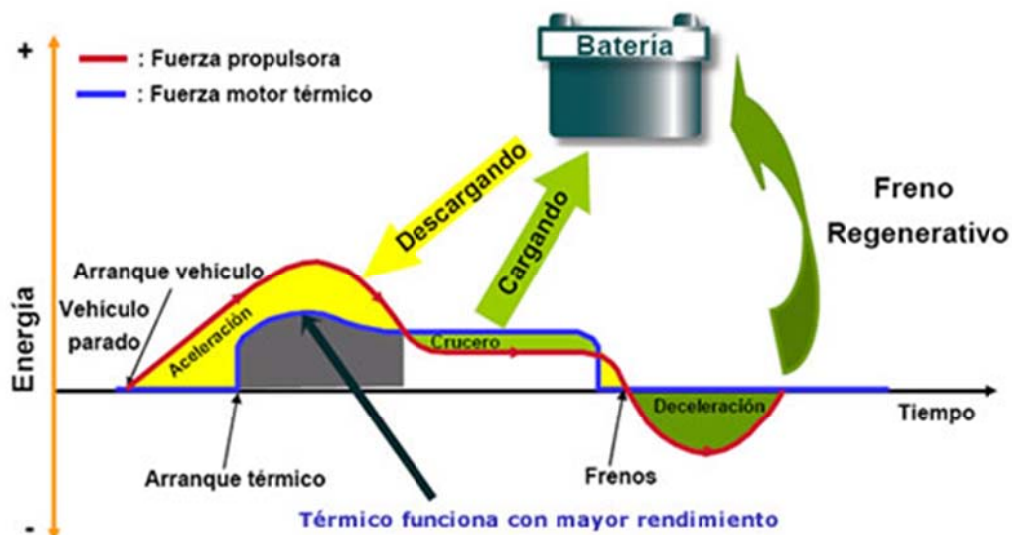


Imagen 17. Gráfica de funcionamiento de un vehículo híbrido. Fuente: Toyota, 2010

En este sentido, en el mercado existen hoy en día varios tipos de estos vehículos, a saber:

- Motores paralelos. El motor térmico es la principal fuente de energía y el motor eléctrico actúa aportando más potencia al sistema. El motor eléctrico ofrece su potencia en la salida y en la aceleración, cuando el motor térmico consume más.
- Sistema combinado. el motor eléctrico funciona en solitario a baja velocidad, mientras que a alta velocidad, el motor térmico y el eléctrico trabajan a la vez. El motor térmico combina las funciones de propulsión del vehículo y de alimentación del generador, que provee de energía al motor eléctrico, lo que suele aumentar la eficiencia del sistema, ya que se puede aprovechar la energía generada por el motor térmico.
- Motores en serie. el vehículo se impulsa sólo con el motor eléctrico, que obtiene la energía de un generador alimentado por el motor térmico.

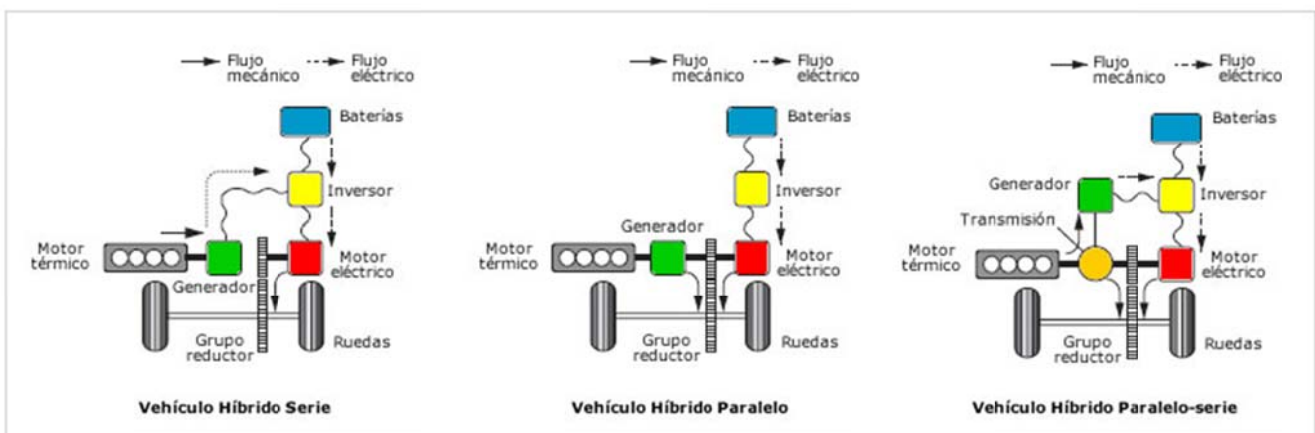


Imagen 18. Esquemas básicos de funcionamiento del vehículo híbrido según su configuración. Fuente: Toyota, 2010

También se pueden clasificar en:

- **Regulares:** se recargan por el funcionamiento normal del vehículo. Son los que por el momento se están aplicando actualmente, por no disponerse aun de una red muy amplia de puntos de recarga.
- **Enchufables:** también se recargan conectándose a la red eléctrica. Sus características generales se resumen a continuación:
 - Cero emisiones de CO₂, en entornos urbanos, por su utilización como plenamente eléctrico.
 - La batería se recarga en 90 minutos a 220V. Requiere puntos de recarga
 - Autonomía total superior a los 1.200 km en modo híbrido.
 - Resultando en un consumo de 2,6 l / 100 Km en modo combinado.
 - Emitiendo 59 g/km en modo combinado.

En cuando al desarrollo que se tiene de la tecnología, como ya se ha comentado anteriormente, la tecnología ya se aplica encontrándose en fase comercial, aunque se sigue desarrollando puesto que se trata de un concepto relativamente nuevo y, por tanto, aún mejorable.

De hecho, una nueva tecnología en fase de desarrollo es la derivada de la sustitución del motor de combustión por celdas de combustible con el fin de alimentar el generador con hidrógeno tan solo emitiendo vapor de agua (ver sección 3.3.1 del presente documento).

En cuanto a normativa internacional que trata esta tecnología concretamente, parece que aún no está tan desarrollada como en otros casos, esperando que dentro de poco tiempo se publique más normativa internacional al respecto. En principio les aplica la normativa vigente para vehículos eléctricos y de motor térmico de combustión (ver legislación propia). Se tiene la siguiente normativa relacionada:

- Norma ISO 12405 especificaciones de pruebas para sistemas de iones de litio de las baterías de tracción
- Europa. UNECE Reg. 100 Add. 99 Battery electric vehicles safety (2013)
- Europa. UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1)
- USA. ASTM WK41136/47374. Especificaciones para el diseño, manufactura e integración de unidades de propulsión eléctricas o híbrido-eléctricas en aviación general (aeroplanos)

Rendimientos y autonomía

Los datos que se barajan actualmente pueden cambiar en poco tiempo puesto, como se ha comentado anteriormente, la tecnología continua en desarrollo y los rendimientos y autonomías están cambiando de forma frecuente.

En este momento, y aunque los datos disponibles son algo variables dependiendo de las fuentes, se puede determinar de forma aproximada, para el caso de vehículos híbridos regulares que el rendimiento medio, en funcionamiento pleno EV (*Electric vehicle*), sería de 0.57 kWh/km, mientras que en la equivalencia en funcionamiento híbrido sería de 15 km/l (un vehículo equivalente de gasolina está en torno a los 10 km/l). Según el Estudio del Grupo de sostenibilidad urbana y regional de la Universidad de los Andes, en Colombia, el rendimiento global de estos vehículos se estima en 0.187 kWh/km (dato de Renault, 2012).

La autonomía de los híbridos regulares se cuantifica, de forma aproximada en unos 600 km en recorridos urbanos, mientras que para carretera se estima en unos 800 km (fuente de datos: Audatex, 2014).

Emisiones al medio ambiente

En la siguiente tabla se pueden ver algunos datos de comparación de emisiones entre la tecnología tradicional y la híbrida eléctrica/gasolina (híbridos no enchufables).

Reducción media de emisiones. Comparación entre vehículos híbridos y vehículos convencionales

Emisiones	Híbrido	Gasolina		Diesel	
		Euro IV	% reducción	Euro IV	% reducción
NOx	0,01	0,08	87,5	0,25	96
CO	0,18	1,0	82	0,50	64
HC	0,02	0,10	80	0,05	60
PM	--	--	--	25	100
CO2	104	165	37	146	29

Porcentaje de reducción de emisiones de un vehículo híbrido (Toyota Prius) respecto a uno que cumpla la normativa EURO IV. Dato CO2: Valores medios vehículos nuevos 2004. Datos en g/km excepto para PM que se indican en en mg/km.

Tabla 5. Porcentajes de reducción media de emisiones de vehículo híbrido y convencional. Fuente: Tecnologías de propulsión híbridas y las evidencias científicas de su eficacia. 2006

Tras los últimos desarrollos actuales de esta tecnología se ha obtenido una reducción importante de CO₂, consiguiendo unos niveles de emisión de 99 g/km en vehículos de gama relativamente alta (referencia: marca Lexus).

Costos de mantenimiento

En general, los costes de mantenimiento de esta tecnología se consideran menores que el vehículo tradicional con energía de combustión interna por ser más sencillos desde el punto de vista de componentes mecánicos. Por ejemplo, este tipo de vehículos no disponen de elementos tradicionales como alternador, correa de distribución, caja de cambios, motor de arranque, sistema de embragado, etc. por lo que se reduce la probabilidad de fallo, así como el recambio periódico de muchos de estos componentes.

Aunque tiene un componente con una vida útil más o menos determinada que supone un coste elevado de sustitución: las baterías de almacenamiento de energía eléctrica. Se han realizado diversos estudios que estiman su vida útil en un periodo de 7 a 10 años y/o entre 250.000 y 480.000 km. El coste de su sustitución supone aproximadamente unos 2.500 dólares (aunque variable en función de marca y modelo, podría suponer entre un 5-15% del coste del vehículo).

Con ello, se tiene que el coste proporcional de mantenimiento ordinario de unos 8 años de uso y cada 120.000 km de rodaje es de unos 1.800 USD que, si se le suma el coste anterior de sustitución de las baterías resultaría en unos 3.000 USD/120.000 km.

El coste ordinario de mantenimiento de los vehículos de combustión cada 120.000 km de rodaje (y 8 años de utilización) está estimado en unos 4.960 USD, para gasolina y de unos 6.720 USD para vehículos diesel. Datos de Audatex y Toyota, 2014 (cifras referidas a varios modelos de Toyota).

Coste de explotación

El coste de operación de un vehículo tipo turismo estándar híbrido de estas características, aunque es variable con el precio del petróleo, sería actualmente de unos 0.087 USD/km (Fuente: Guía de compra gasolina, diesel, híbrido o eléctrico, Estudio Revistamotor).

En cuanto a la **infraestructura** asociada, esta tecnología requiere, por un lado de surtidores convencionales de gasolina/diesel y, por otro lado, sólo para los híbridos Enchufables se requeriría de una infraestructura constituida por una red de puntos de recarga de estos vehículos. En este caso se remite a la descripción detallada de estos dispositivos contemplada en la *sección 3.2.5* del presente documento. Si se refiere al modo terrestre ferroviario, al ser vehículos de contacto continuo (mediante catenaria o tercer carril electrificado normalmente), la infraestructura necesaria es obviamente mucho más costosa y normalmente se asocia a la propia construcción de la propia infraestructura completa de transporte. En este sentido, los elementos principales que la definen en este caso son las acometidas a la red de suministro eléctrica, las subestaciones de tracción con los equipos de rectificación y transformación de tensiones, sistema de *feeders* de alimentación y sistema de distribución a lo largo de la línea (catenaria) con postes, pórticos y demás estructuras necesarias. El coste en este caso, varía en función de las características de la línea, pudiendo llegar a ser hasta el 30% del coste total de construcción de una nueva línea ferroviaria.

3.2.4. Tecnologías híbridas eléctrica/GNC

Esta tecnología se basa en la combinación de un motor eléctrico y un motor de combustión impulsado por la energía obtenida del gas natural comprimido (GNC) como combustible.

Se considera la tecnología implantada **menos contaminante** del mercado, tras la tecnología eléctrica pura y, con la ventaja de disponer de más autonomía que ésta.

En los últimos años se está promoviendo la conversión o adaptación de vehículos híbridos eléctrico/gasolina a eléctrico/GNC, mediante una adaptación del sistema de suministro de combustible al motor térmico así como la incorporación de un depósito de alta presión para el GNC. Esta adaptación posee un coste relativamente bajo (costo aproximado de adaptación entre 2.000 y 2.500 USD) si se tienen en cuenta los beneficios a medio plazo en cuanto a consumos y ahorro económico.

Por el momento, en Europa todos los híbridos que funcionan con gas son adaptaciones realizadas por particulares, porque no se venden así, todos se han vendido con gasolina. Cuando se emplea gas en un motor Otto o Atkinson, las prestaciones son casi las mismas que cuando se emplean derivados del petróleo. Se pierde algo de potencia (CV) pero se gana par (N.m).

En este caso, en el coste por consumos es importante tener en cuenta que el depósito de gasolina se conserva puesto que es necesaria como combustible para el arranque del vehículo (su consumo será muy reducido, por tanto, pero existe).

En el caso de vehículos directamente adquiridos para ser utilizados para GNC no es necesario disponer de gasolina como combustible. El coste de adquisición de este tipo de vehículos supone aproximadamente un 25% más que la adquisición de un vehículo homólogo propulsado por combustible tradicional.

En general, estos vehículos reúnen todas las ventajas (e inconvenientes) explicitados en apartados precedentes de este documento, de la energía eléctrica y del GNC.

La fuente para los consumos emisiones y rendimientos (contenidos en la base de datos adjunta) para este tipo de vehículos ha sido: *Estudios estadísticos de Spiritmonitor.de*

En cuanto a la normativa aplicable, por el momento, como pasa con los híbridos anteriores, es necesario acudir a la normativa específica para vehículos de tracción eléctrica y de combustibles gaseosos, como la norma ya nombrada ISO/TC 22 Propulsión eléctrica de vehículos y vehículos impulsados por combustibles gaseosos.

En el caso de las infraestructuras requeridas, se remite a los surtidores de GNC descritos en la sección 3.2.1 del presente documento y, para el caso de vehículos híbridos Enchufables, a la siguiente sección.

3.2.5. Tecnología eléctrica para vehículos de transporte (VE)

Este tipo de tecnología, que ya se viene aplicando varias décadas en el sector ferroviario y urbano colectivo (trolebús y tranvía), ha llegado en los últimos años al vehículo privado y público convencional (turismos y autobuses) mediante el uso de baterías más o menos ligeras en las que almacenar la energía eléctrica durante el recorrido.

En lo referido al modo ferroviario la tecnología se encuentra completamente desarrollada para el transporte de mercancías y pasajeros y muy aplicada en la Unión Europea, Asia y en América (en este último caso para el transporte de pasajeros en zonas urbanas y suburbanas).

En otro sector en el que está ampliamente asentada es en los **sistemas de transporte por cable** (teleféricos/funiculares) especialmente en zonas urbanas con elevados desniveles orográficos o entornos turísticos de características físicas similares, en los que el ferrocarril o el autobús requerirían de elevados gastos energéticos.

En el caso del transporte por carretera se entiende por vehículo eléctrico (VE) aquél que utiliza uno o varios motores eléctricos para su tracción a partir de la energía eléctrica almacenada en baterías o acumuladores que se recargan desde la red eléctrica.

En las baterías, la energía química almacenada se transforma en energía eléctrica y posteriormente, a través del motor eléctrico, se convierte en energía mecánica.

Para recargar las baterías, el vehículo eléctrico necesita conectarse a una toma de corriente eléctrica, ya sea de baja intensidad de corriente (recarga lenta) o de alta intensidad (recarga rápida). Entre sus principales características, el VE destaca por su nula contaminación en los entornos urbanos, ya que en su circulación no produce emisiones contaminantes.

También cabe comentar su inexistente contaminación acústica, salvo el inevitable ruido causado por su propia rodadura, así como los menores costes de uso y de mantenimiento.

El vehículo eléctrico puro, además de mejorar la calidad del aire de las ciudades, significa en muchos casos una importante herramienta para reducir la dependencia energética del exterior, principalmente de los productos derivados del petróleo (gasóleos y gasolinas), al permitir un mayor y mejor aprovechamiento de nuestros recursos energéticos autóctonos, principalmente de las energías renovables, y al **mejorar la eficiencia energética en la automoción**, reduciendo además la emisión de gases de efecto invernadero.

Al igual que en el caso de los vehículos con motor de combustión interna, podemos encontrar diferentes tipologías de vehículos.

Esta tecnología aplicada al modo carretero aún se encuentra en fase de desarrollo, ya aplicándose en fase comercial para vehículos de tipo utilitario con **autonomías reducidas** (principalmente recomendados para trayectos cortos de tipo urbano), así como en vehículos de alta capacidad (autobuses de tipo urbano). En este sentido, las principales limitaciones que se intentan salvar con el desarrollo tecnológico actual son:

- la capacidad de las baterías para almacenar más cantidad de energía eléctrica con escaso volumen y peso,
- la vida útil de las baterías y su tratamiento tras finalizar ésta (componentes: Litio, Plomo, Níquel)
- los tiempos de recarga que se intentan reducir para ser los mínimos posibles (carga rápida).

Las autonomías máximas (el mayor hándicap de esta tecnología en el sector carretero) obtenidas actualmente son de entre 200 y 500 km (los vehículos de mayor autonomía aún tienen un coste muy elevado). (Fuente: Guía del Vehículo Eléctrico para flotas)

Estas autonomías dependen del peso del vehículo que a su vez está en función de las baterías (que tienen un peso considerable), el motor eléctrico y el peso del contenido del vehículo. Es por ello que el tipo de transporte se aplica únicamente, por el momento al transporte de pasajeros o pequeñas cargas, no aplicable para el transporte de mercancías pesadas.

Actualmente hay tres tipos de baterías aplicadas a los VE:

- La batería de **Plomo** (ácido y gel) es la más económica, pero es la que menos autonomía nos ofrece, mayor peso tiene, más aumenta la TARA del vehículo, y más exigencia en el cuidado y mantenimiento pide. La batería de ácido requiere controlar el nivel de agua sólo cuando está cargada totalmente, hacer las cargas completas (6-7 horas) y no desenchufar el cable en cualquier momento. No es recomendable si el VE lo va a utilizar más de una persona, ya que será difícil controlar que tenga en cuenta estos cuidados que pueden ‘matar’ la batería en menos de 2 años.
- La batería de **Níquel** (Cadmio o Hidruro metálico) es algo intermedio. Sin embargo no es tan económica comparada con la de Litio teniendo en cuenta las desventajas que tiene. Es la batería con mayor efecto memoria de las tres. Es decir, que es absolutamente recomendable no poner a cargar el VE si no hemos agotado la batería. Además presenta una tasa de descarga muy elevada. Esto significa que si el VE va a estar un tiempo parado será perjudicial para la batería. Además el Cadmio es altamente contaminante y esto contradice el concepto ‘Green Fleet’.
- La batería de **Litio** (Ion o Polímero) es la batería más cara, pero es la que más ventajas y prestaciones ofrece. Cuenta con la mayor autonomía, reduce el peso y por tanto la TARA de los vehículos. No requiere de ningún mantenimiento (sólo chequeo mediante software BMS), permite las cargas parciales e incluso son recomendables ya que alargan la vida de las baterías. Una vez pasados los ciclos de garantía, la batería sigue operativa, aunque con una reducción en su capacidad de carga de alrededor de un 20%, pudiéndose además sustituir celdas individuales si fuera necesario (modularidad), con lo que se favorece una mayor vida útil de la batería.

En lo referido a **la infraestructura para la carga**, en la actualidad hay varios tipos; desde los sistemas lentos, idóneos para recargar en casa, hasta los más rápidos, capaces de completar la carga en diez minutos.

- Carga lenta: es la más estandarizada y todos los fabricantes de vehículos eléctricos la aceptan. Se suele realizar con corriente alterna monofásica a una tensión de 230 voltios (V) y una intensidad de hasta 16 amperios (A). El tiempo necesario para una recarga completa de la batería (tipo 24kWh) ronda entre las 6 y 8 horas. Es apto para garajes privados, ya que es la misma tensión y corriente que la doméstica.
- Carga semi-rápida: sólo la aceptan algunos vehículos, aunque es previsible que en fechas próximas sea un tipo de recarga bastante común. La carga se realiza con corriente alterna trifásica, con una tensión de 400V y una intensidad de hasta 64A. En este caso, el tiempo de recarga se reduce a 3 ó 4 horas.
- Carga rápida: concebida a más largo plazo por sus mayores complicaciones. Algunos fabricantes ya la admiten. Consiste en alimentar al vehículo con corriente continua a 400V y hasta 400A. El tiempo de recarga se reduce a unos 15 - 30 minutos.

En cuanto a los últimos avances en la tecnología en este sentido, para los procedimientos de carga rápida, existe una asociación de empresas japonesas “CHAdEMO” que se dedica a la promoción de estos sistemas y a su implantación alrededor del mundo. Cuenta actualmente con más de 170 miembros a nivel mundial y ha conseguido patentar un **método de carga rápida** que proporciona una corriente continua de 62.5 kW (500 V, 125 A), capaz de cargar la batería del vehículo en minutos. Es la abreviación de “CHArge de MOve”, que equivale a “carga para moverse” en inglés, y un juego de palabras para la frase en japonés “O cha demo ikaga desuka” que quiere decir “tomemos té mientras carga”. (Fuente: Mapa tecnológico movilidad eléctrica. Observatorio Tecnológico de la Energía. MIET, España, 2012).

El coste de estas infraestructuras varía entre los 10.000 y los 20.000 USD (incluyendo obra civil asociada) dependiendo del tipo de carga y del grado de desarrollo de la tecnología, que está avanzando de forma permanente en los últimos años; y su vida útil se encuentra alrededor de los 10 años, aunque con operaciones ligeras de mantenimiento (sustitución de ciertos elementos) puede alargarse hasta los 12-15 años.

En la sección 3.3 de este documento pueden consultarse las principales innovaciones y algunos proyectos de investigación destacados que se están desarrollando actualmente para esta tecnología.

Análogamente a su grado de desarrollo, la **normativa regulatoria** existente se encuentra completamente implantada en el sector ferroviario y de sistemas de transporte por cable, existiendo una gran variedad de normas y reglamentos técnicos internacionales y, por Estados, que establecen condiciones de seguridad de instalación y funcionamiento de estos sistemas, así como parámetros medioambientales.

En el caso de vehículos de carretera, la normativa internacional existente en muchos casos engloba a esta tecnología junto a la tecnología híbrida y aún se encuentra en proceso de desarrollo.

En este sentido, la UE acordó con Estados Unidos y Japón, en el marco del Foro Mundial para la Armonización de las Regulaciones de Automóviles reunido en Ginebra en 2011, avanzar en las normas internacionales, que deben servir para impulsar la fabricación y uso de estos vehículos eléctricos.

El acuerdo prevé la creación de dos grupos de trabajo que se ocuparán respectivamente de la seguridad eléctrica y de los aspectos ambientales. Los grupos de trabajo estudiarían la cuestión de las emisiones de CO₂, para determinar límites y niveles de eficiencia y tener en cuenta de cómo se va a generar la

electricidad para propulsar estos vehículos. También se trata, de abaratar costos en la producción y fabricación y fijar unos altos estándares mundiales de seguridad.

Se esperaba que las medidas entraran en vigor en el año 2014, abriendo así la puerta a una mayor implantación internacional armonizada de este tipo de transporte.

La armonización serviría para incluir, al menos, a la UE, Estados Unidos y Japón, y también a otros mercados importantes, como Canadá, China, India, Malasia y Corea del Sur, Australia o Sudáfrica.

Se resume a continuación de modo general la normativa internacional existente (referida a los propios vehículos y a los puntos de recarga):

- Norma ISO/TC 22 Propulsión eléctrica de vehículos y vehículos impulsados por combustibles gaseosos
- Norma ISO 6469 Manejo seguro sobre vehículos eléctricos
- Norma ISO 12405 especificaciones de pruebas para sistemas de iones de litio de las baterías de tracción
- Norma ISO 15118 Interfaz entre vehículos eléctricos y la red, enlaces de comunicación y protocolos
- UNECE Reglamento 100 *Battery electric vehicles safety*
- Norma IEC 61851 Dispositivos conectores y modos de carga para vehículos eléctricos (International Electrotechnical Commission)
- Norma IEC 62196 para el conjunto de conectores eléctricos y los modos de recarga para vehículos eléctricos (International Electrotechnical Commission)
- UE. Directiva 33/2009 relativa a la promoción de vehículos de transportes por carretera limpios y energéticamente eficientes
- UE. Norma -EN 61851 Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos
- España. ITC-BT-52. Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos.

Es destacable que se redactó un *Memorando de Entendimiento* entre los comités de normalización internacionales ISO e IEC para la redacción conjunta de normativa en relación con **Electrotecnología para vehículos de tráfico rodado**.

En cuanto a los **rendimientos**, este tipo de vehículos varían entre los 0.15 kWh/km (gama baja) y los 0.30 kWh/km (gama alta) (fuentes: *fabricantes Toyota y Tesla y Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Colombia, 2014*), por lo que se consideran considerablemente eficientes y de consumo reducido.

Para el caso de vehículos de alta capacidad de viajeros como autobuses, en las tecnologías ya utilizadas hoy en día se obtienen rendimientos a plena carga en torno a los 1.67 kWh/km, con una eficiencia global superior al 71% (fuente: *Diseño de ómnibus urbano con propulsión eléctrica a batería*). Según el *Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Colombia*, este valor sería 2.2 kWh/km.

Según el Informe de 2012 del *Dr. Juan P. Zagorodny para el Foro Estratégico para el Desarrollo Nacional*, un vehículo diesel turbo estándar consume aprox. 75 kWh de gasoil para recorrer 100 km, un

vehículo equivalente a GNC consumirá aprox. 123 kWh (de GNC), y un vehículo eléctrico consumirá solamente 22 kWh (eléctricos), para recorrer la misma distancia. Dicho de otro modo, comparando los rendimientos surge que, con la misma cantidad de energía, en general un vehículo eléctrico recorrerá 3,4 veces más distancia que un vehículo a gasoil, y 5,6 veces más que un vehículo a GNC, en las mismas condiciones de aceleración (que con un auto eléctrico se logrará con menos kW de potencia que con los motores de combustión).

Con todo ello se puede concluir que, en cuanto a eficiencia energética, el vehículo eléctrico es el mejor de su categoría, además de en emisiones de contaminantes con las salvedades que se explicitan a continuación.

Si se consideran las **emisiones** únicamente como energía secundaria, es decir, en el momento de su explotación, esta tecnología aplicada al transporte tiene 0 emisiones de gases, como ya se ha planteado anteriormente, aunque se deben considerar las fuentes de energía de las que procede la misma, distinguiendo entre la procedencia térmica (a partir de combustibles fósiles) o nuclear (a partir de la fisión del uranio), por tanto no renovables, y la procedencia de energías renovables (hidroeléctrica, eólica, fotovoltaica, etc.). Si se pretende tender hacia la implantación de la energía eléctrica para tracción del transporte público y privado, se deben tener en cuenta el origen de la misma en cuanto a emisión de contaminantes y residuos, de forma que sea eficiente. En el caso de Uruguay, como se vio en los primeros apartados de este documento, las fuentes de generación de energía eléctrica son, en su mayoría de origen hidroeléctrico, es decir, **de tipo renovable**.

Además, también hay que tener en cuenta los factores contaminantes de las baterías en el análisis, puesto que, como se describe a continuación, su vida útil es algo menor que la del propio sistema además de contener residuos tóxicos, cuyo tratamiento tras la vida útil se encuentra en fase de investigación y desarrollo.

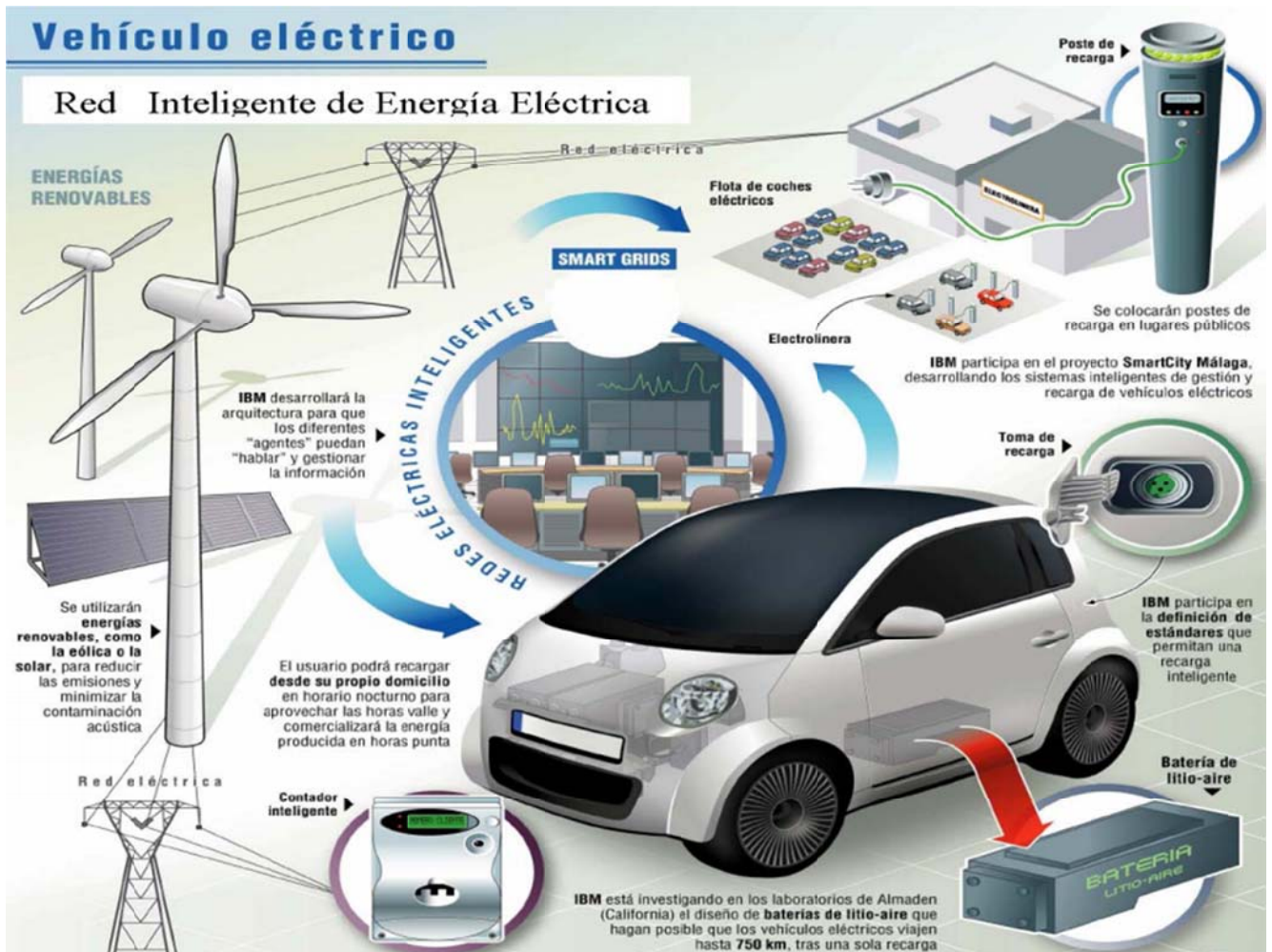


Imagen 19. Ciclo eficiente de la energía eléctrica limpia (en primaria y secundaria) en un ámbito con VE. Fuente: Tracción Eléctrica Proyecto VER, Jornada sobre Jornada sobre autos eléctricos UNCUIYO, Argentina, 2012.

Si se considera la **vida útil** del sistema, el condicionante principal vuelve a ser la batería. Estos dispositivos poseen una vida útil más baja que los componentes mecánicos y electrónicos, estando garantizadas, normalmente para 8 años de vida en correcto funcionamiento o bien para 160.000 km (fuente: fabricante Volkswagen).

En cuanto a los costes, al encontrarse la tecnología en fase de desarrollo, aún es un coste elevado que, si se le suma la reducida autonomía que aun proporcionan estos vehículos, ello supone un gran hándicap para la utilización esta tecnología. Por ello, le tecnología híbrida (descrita en el apartado anterior) se plantea como una alternativa viable hasta que la eléctrica se desarrolle por completo.

Además de los costes de la tecnología, hay que tener en cuenta la necesidad de una infraestructura adicional para la recarga de energía de los vehículos, ya sea en plataformas particulares o emplazamientos públicos en ciudades o gasolineras, donde se requieren tomas de corriente para el enchufado de los vehículos.

Los costes de **mantenimiento** varían mucho entre vehículos para el transporte privado y los destinados a transporte público de pasajeros o pequeñas mercancías. Mientras que para los primeros estos se estiman

en unos 1,900 USD/año, para el segundo caso, se estiman en unos 30,000 USD/año (variable en función del tipo de vehículo), según la Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia, 2014).

El coste de la carga completa de un vehículo eléctrico (turismo estándar), para una autonomía de hasta 100 km, es de 1,86 USD (15kWh de consumo) aproximadamente (Fuente de datos: Guía de la eficiencia energética en automoción, Agencia Andaluza de la Energía - IDAE, España Ed. 2011).

En cuanto a las políticas seguidas por los diferentes países que están apostando por estas tecnologías, se refiere al Informe de Tendencias del Producto II del presente Estudio.

3.3. Tecnologías en proceso de investigación y/o desarrollo

Además de las tecnologías descritas en el apartado precedente, existen otros tipos de tecnologías que se encuentran en fase de investigación y desarrollo y que suponen una mejora en algunos casos al abanico existente ya en fase comercial.

En este sentido, se presentan a continuación tres principales tecnologías: tecnología con hidrógeno como combustible, tecnologías eléctricas en fases de investigación y vehículos de aire comprimido.

3.3.1. Hidrógeno como vector energético aplicado al transporte

Como es ampliamente conocido, el Hidrógeno es el elemento más abundante en el Universo. La fusión de dos átomos del elemento Hidrógeno, que se produce en las estrellas genera Helio y una cantidad muy elevada de energía, además de forma muy eficiente.

Pero al contrario de lo que en muchas ocasiones se piensa, este elemento no es un recurso natural si no que hay que transformar elementos que hay en la naturaleza para producirlo.

En este sentido, se puede producir a través de los siguientes métodos (fuente: Asociación Española del Hidrógeno):

- A partir de la oxidación parcial de combustibles fósiles (petróleo y gas natural)
- A partir de la gasificación de carbón
- A partir del proceso de fotosíntesis de las algas
- A partir de pirolisis de biomasa
- A partir del reformado de alcoholes como etanol, metanos, derivados de gas o biomasa
- A partir de la electrólisis de agua con electricidad renovable
- A partir de conversión de energías solar y nuclear por ciclos termo-químicos

Existen varios proyectos de investigación mundiales para fomentar la Hidricity, un nuevo sistema energético en el que el hidrógeno y la electricidad se utilizan indistintamente como portadores de energía intercambiables y, además vincular la generación de esta energía eléctrica primaria de forma exclusivamente renovable (Proyecto de la isla de Utsira, Noruega; Proyecto RES2H2 de Islas Canarias y Griegas o el Proyecto Sotavento).

En cuanto a su aplicación como **fuentes de energía para el transporte**, el hidrógeno podría suponer una revolución, aunque para alimentar la totalidad de la demanda mundial en 2030 harían falta aproximadamente 137 EJ (Exajulios) (fuente: OCDE/IEA World Energy Outlook 2009), mientras que la

producción mundial en el año 2007 fue de 8 EJ (que se aplica a usos industriales). Se considera una tecnología emergente aplicada al transporte.

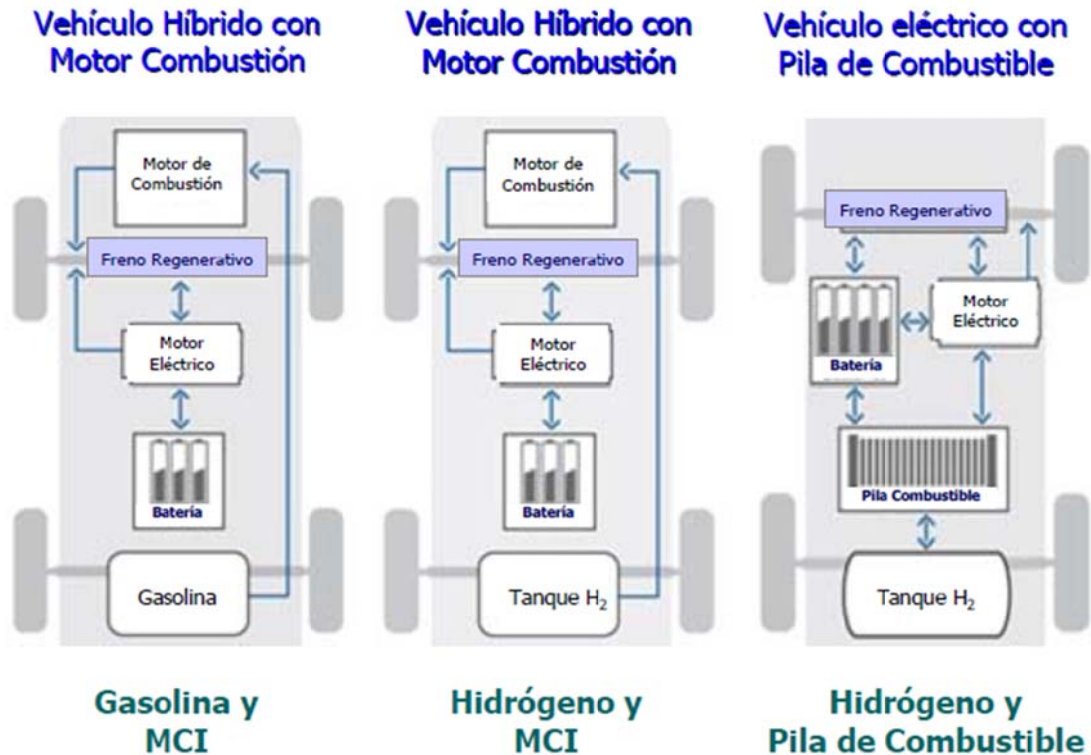


Imagen 20. Cadenas posibles de tracción en vehículos híbridos con y sin hidrógeno como fuente de energía.

Fuente: El hidrógeno como vector energético. Depto. Aerodinámica y Propulsión INTA. España, 2013

El método **más eficiente** a nivel energético y que genera **menor nivel de emisiones** es la utilización de pila de combustible que alimenta un único motor eléctrico (fuente: INTA) a través de hidrógeno obtenido a partir de biomasa o a partir de agua por electrólisis con energía eólica, aunque también está la solución intermedia híbrida con motor de combustión propulsado por hidrógeno.

En cuanto a la pila/celda de combustible se trata de un dispositivo electroquímico que convierte directamente la energía química en energía eléctrica. El principio básico de funcionamiento se basa en la generación de un electrolito (con un ánodo y un cátodo) que con aportación de hidrógeno, una pequeña corriente eléctrica y oxígeno, obtiene vapor de agua y energía eléctrica. En función del tipo de pila y el combustible (H_2 o H_2 combinado con otros compuestos), ésta será capaz de generar una potencia mayor o menor (desde unos 250 kW con H_2 puro hasta 10MW con H_2 procedente de GN o metanol), con rendimientos medios de entre el 50 y el 60 %.

La falta de una infraestructura para la producción, transporte, distribución y suministro final de hidrógeno se considera el mayor **obstáculo** para la introducción de los vehículos con pila de combustible

Aunque, los vehículos con celdas o pilas de combustible ya son una realidad a nivel tecnológico (han sido desarrollados) aún no se dispone de una red de infraestructuras para el suministro de H_2 .

En este sentido, en Europa, un conjunto de empresas (fabricantes de vehículos y petroleras) han llegado a acuerdos en cuanto a la futura fabricación, perfeccionamiento y comercialización de estos vehículos así

como al diseño y construcción de infraestructuras para el abastecimiento de H₂ (Programa *H₂ Mobility*, 2009).

Las principales ventajas de los vehículos con pila de combustible para automoción son:

- Se trata de una alternativa de carácter renovable a los combustibles fósiles tradicionales.
- Alta eficiencia energética sea cual sea la temperatura de trabajo de la pila.
- No emite gases contaminantes ni gases de efecto invernadero.
- Ausencia de ruidos provenientes del motor.

En la actualidad, la pila de combustible aún resulta una tecnología cara de usar. Al ser el hidrógeno un vector energético y no un combustible, no se encuentra como tal en la naturaleza, por lo que se requiere de un aporte de energía para obtenerlo, ya sea a partir de los combustibles fósiles o bien a partir de la electrólisis del agua.

En la actualidad, lo más adecuado es que la obtención del hidrógeno se realice a partir de moléculas de agua, empleando fuentes de energía renovables para romper esas moléculas y liberar así el hidrógeno.

Pero sin duda, la principal barrera a superar, y en la que más se está trabajando en la actualidad, es la autonomía del vehículo, ya que el hidrógeno debe ser almacenado a altas presiones y ello supone un alto coste. Una vez se supere esta barrera por completo y se cree una red de estaciones de repostaje, los sistemas de propulsión con pila de combustible tienen un gran potencial de desarrollo y serán una alternativa factible a los vehículos tradicionales a medio-largo plazo. Hoy ya existen prototipos de vehículos turismo que generan 80 kW de potencia, alcanzando una velocidad máxima de 150 km/h.

Como ejemplo de ello, en la actualidad, existe una flota de autobuses funcionando en varias capitales europeas, en el marco de un proyecto piloto de desarrollo de energías limpias (en este sentido, se refiere al Informe de Tendencias del presente Estudio).



Imagen 21. Proyectos piloto de autobuses aplicados en ciudades europeas. Fuente: Guía de la eficiencia energética en automoción, AAE/IDAE, Ed. 2011

3.3.2. Tecnología eléctrica en fase de Investigación y Desarrollo

Aunque la tecnología eléctrica comienza a implantarse en vehículos para transporte público y privado de pasajeros, como ya se ha analizado, existen algunos hándicaps a superar, especialmente en lo referido a las autonomías, potencias y pesos de los vehículos.

En este sentido, existen varias iniciativas a nivel mundial (especialmente europeas) con el fin de desarrollar más esta tecnología para que se implante de forma eficiente y definitiva. Se enumeran y describen brevemente a continuación algunos programas e iniciativas que se están implementando actualmente con este objetivo:

Acuerdo de implementación para vehículos híbridos y eléctricos (Agencia Internacional de la Energía IEA)

<http://www.ieahev.org/>

Esta iniciativa comenzó en 1993 con la finalidad de generar y difundir información relacionada con el vehículo eléctrico, el híbrido y el de pila de combustible.

Se trata de un grupo de trabajo de la Agencia Internacional de la Energía en el que colaboran gobiernos y centros de investigación de los países integrantes: Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Italia, Holanda, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido, EEUU y España.

Los principales objetivos ambientales y energéticos del sector transporte son:

- Mejorar la calidad del aire mediante la reducción de emisiones nocivas generadas por los vehículos.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte.
- Disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.
- Aumentar la eficiencia energética global del sector transporte.

AVERE: European Association for Battery, Hybrid and fuel cell electric vehicles

<http://www.aver.org/www/index.php>

Avere es la asociación europea para las baterías, los vehículos híbridos y los vehículos con pilas de combustible. Se fundó en 1978 y está formada por usuarios, ONG, asociaciones, grupos de interés, instituciones públicas y de investigación, fabricantes y empresas eléctricas.

Tiene como objetivo principal la promoción del uso de los vehículos híbridos y eléctricos, tanto a nivel particular como en flotas, para conseguir una movilidad más ecológica en las ciudades.

Las principales actividades que desarrolla esta asociación son:

- Promoción y networking
- Monitorización
- Participación en proyectos europeos e internacionales
- Investigación y desarrollo

Durante los últimos veinte años, AVERE ha trabajado de forma estrecha con las instituciones europeas, llevando a cabo un gran número de estudios (por ejemplo. Cost 302, EDS, Joule-Cities). AVERE tiene una amplia experiencia en la cooperación entre empresas e instituciones europeas.

Iniciativa del Vehículo Eléctrico (EVI)

<http://www.cleanenergyministerial.org/EVI/>

Esta iniciativa ofrece un foro para la cooperación mundial en el desarrollo y despliegue de los vehículos eléctricos. Dicha iniciativa busca facilitar el despliegue de 20 millones de vehículos eléctricos, incluidos vehículos híbridos enchufables y vehículos con pilas de combustible, a escala mundial, en el año 2020. Para alcanzar este objetivo se deberán llevar a cabo las siguientes actividades:

- Fomentar el desarrollo de iniciativas nacionales de impulso del vehículo eléctrico
- Lanzar proyectos piloto, en entornos urbanos, para promover la incorporación del vehículo eléctrico en las ciudades, y así poder compartir lecciones aprendidas entre los diferentes miembros de la iniciativa.
- Intercambiar información sobre las mejores políticas de impulso del vehículo eléctrico, regulación y objetivos fijados (y conseguidos) a nivel local o nacional, que permita acelerar el desarrollo conjunto del vehículo eléctrico en los diferentes países

- Intercambiar información sobre programas de investigación, para garantizar que las principales líneas de trabajo están siendo desarrolladas
- Involucrar a las diferentes partes interesadas del sector privado, fomentando la incorporación de vehículos eléctricos en flotas y la creación de programas de innovación con financiación público-privada

Los países participantes son: China, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, India, Japón, Portugal, Suráfrica, España, Suecia y Estados Unidos. La Agencia Internacional de la Energía también colabora en dicha iniciativa, facilitando datos, realizando análisis y contribuyendo a la diseminación de la información.

EV Stock Targets (select EVI members)

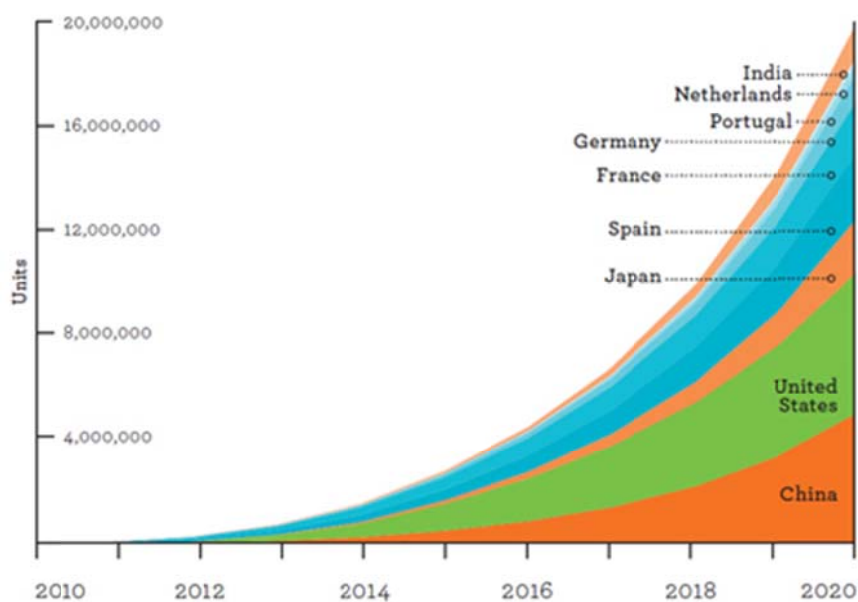


Imagen 22. Objetivo de número total de vehículos eléctricos en los estados miembros de EVI. Fuente: EVI 2013

Iniciativa europea de Green cars

<http://www.green-cars-initiative.eu/public/>

La Iniciativa Europea de Coches Ecológicos es una de las tres asociaciones público-privadas del Plan Europeo de Recuperación anunciado por el Presidente de la Comisión Europea.

Uno de sus principales objetivos es conseguir que el 20% del mercado del automóvil europeo sea eléctrico o híbrido para el año 2020.

El proyecto pretende desarrollar un mercado automovilístico respetuoso con el medio ambiente y, a su vez, competitivo a nivel internacional. De esta manera, se quiere dar un impulso a la recuperación económica de Europa, apoyar a la industria automovilística y responder a las exigencias medioambientales propuestas por la propia UE.

No está dirigido únicamente a los pasajeros de los vehículos. Incluye también la investigación en camiones, motores de combustión interna, el uso de bio-metano, y la logística.

Sin embargo, su foco de interés principal está en la electrificación de la movilidad y el transporte por carretera. Sus puntos clave son: el desarrollo de baterías de alta densidad, la innovación en el diseño de mecanismos híbridos y eléctricos y la investigación en el campo de la nueva generación de biocarburantes.

Transporte de mercancías inteligente

El transporte de mercancías por ferrocarril es una actividad clave que debe contribuir significativamente al desarrollo de una economía eficiente y baja en carbono.

Para ello es necesario aprovechar sus fortalezas principales:

- Mayor eficiencia en el consumo de energía.
- Reducción de costes externos.
- Mejora en las emisiones de CO₂.
- Disminución de la contaminación local.

El sector del transporte es el segundo mayor emisor de CO₂ en la UE-27, acumulando el 23,1% de las emisiones totales en 2007.

La consecución de los objetivos marcados en materia de emisiones se vería reforzada mediante una mayor participación del ferrocarril en la actividad del transporte de mercancías.

El ferrocarril debe ser el eje de un modelo de operación logística que combine cada medio de transporte según convenga para adaptarse a las necesidades del cliente.

Iniciativa Civitas

www.civitas-initiative.org/

CIVITAS - un transporte urbano mejor y más limpio - significa Clty-VITALity-Sustainability (Ciudad-VITALidad-Sostenibilidad).

Con la Iniciativa CIVITAS, la Comisión europea pretende apoyar y evaluar la implementación de ambiciosas estrategias integradas de transporte urbano sostenible que deberían contribuir a mejorar considerablemente el bienestar de los ciudadanos europeos¹⁸.

- CIVITAS I (2002-2006) (dentro del 5º Programa Marco de Investigación); 19 ciudades agrupadas en 4 proyectos de demostración
- CIVITAS II (2005-2009) (dentro del 6º Programa Marco de Investigación), forman parte 17 ciudades distribuidas en 4 proyectos demostrativos.
- CIVITAS PLUS (2008-2012)
- Dos proyectos horizontales apoyan los proyectos de demostración y las ciudades CIVITAS: (METEOR, CIVITAS GUARD)

La Unión Europea financia estas ciudades con un presupuesto de 100 millones de euros y el presupuesto total atribuido a la Iniciativa se elevará a más de 300 millones de euros (2002 – 2012). Las áreas de interés comunes con el concepto de SmartCity son:

CIVITAS I:

- Energía eficiente, rentable y limpia pública o/y privada, flotas de vehículos y la infraestructura necesaria
- Estrategias de gestión de la demanda basada en las restricciones de acceso a los centros de las ciudades y otras zonas sensibles.
- Gestión de la demanda y el aumento de los ingresos de fijación de precios en toda la zona.
- Estimulación del transporte colectivo y de la calidad del servicio ofrecido a los pasajeros
- Promover e implementar medidas de transporte urbano sostenible, limpio y económico.

CIVITAS II

- Nuevas formas de uso de vehículos y estilos de vida menos intensiva del coche
- Vehículos eléctricos
- Medidas Innovadoras para la gestión de la demanda de movilidad
- Integración de sistemas de gestión de transporte y servicios relacionados con las TIC

3.3.3. Tecnología de aire comprimido para vehículos

Existe una modalidad de vehículo que utiliza el aire comprimido como medio de propulsión.

El aire comprimido es aquél que se ha sometido a presión mediante un compresor.

Tienen un funcionamiento mecánico muy parecido a los motores de combustión interna, con la salvedad de que no existe combustión. Ésta es sustituida por la alta presión del aire que entra al cilindro y que es capaz de desplazar hacia abajo los pistones, produciendo, de esta manera, el trabajo necesario para desplazar el vehículo.

Las principales ventajas que presentan estos vehículos son tres:

- Sólo emiten aire por el tubo de escape.
- Bajo coste de operación, debido al bajo precio de compresión del aire con compresores eléctricos.
- El aire no sólo se comprime sino que también se deshumidifica y se filtra.

En Europa ya circulan algunos vehículos de aire comprimido en pruebas y ya son varias las compañías automovilísticas que trabajan en prototipos y realizan pruebas para mejorar su velocidad y su autonomía, lo que sin duda permitirá su fabricación en serie.

Al igual que en el caso del vehículo de hidrógeno, es necesario crear la infraestructura para comprimir el aire y distribuirlo a los automóviles que lo necesiten.

4. NORMATIVA REGULATORIA

En este apartado se recoge un listado de normativa internacional relevante que afecta a las tecnologías descritas en este documento, especialmente relacionadas con el medio ambiente y las emisiones máximas de contaminantes y Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Concretamente en el tema medioambiental, a nivel mundial, se han emitido decretos y disposiciones legales con miras a la reducción de las emisiones contaminantes que se expulsan al medio ambiente. Dentro de los sectores que contribuyen activamente a la contaminación atmosférica, está el sector del automóvil y en general el tráfico rodado en carretera. A raíz de ello, y motivada por las normativas más estrictas sobre las emisiones contaminantes en Europa y también EEUU, la industria del automóvil ha desarrollado tecnologías nuevas y mejoradas para reducir y evitar sustancias contaminantes en los gases de escape.

En Europa y a nivel mundial se han tomado determinaciones y dictado normativas legales en los últimos años, con miras a reducir las emisiones de contaminantes en el aire. Existen las normativas europeas sobre emisiones contaminantes denominadas norma EURO y expresadas como "EU1" que han ido evolucionado hasta la "EU6" y las siguientes normativas que se aprobarán en el futuro. Estas normativas indican a la industria del automóvil los límites de las emisiones contaminantes para la homologación de nuevos modelos de vehículos.

Además de esta normativa internacional, conviene destacar las políticas públicas específicas en el ámbito local en muchos estados de la UE y de América para el favorecimiento del uso de tecnologías eléctricas o híbridas (políticas de aparcamiento, exenciones en impuestos de circulación, etc.)

Normativa internacional y de varios países:

PROTOCOLO DE KYOTO de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Naciones Unidas, 1998

NORMA ISO 14064 sobre emisiones de gases de efecto invernadero

Reglamento UNECE 101 sobre emisiones de CO₂ y consume de combustibles y energía eléctrica (M1 y N1)

Reglamento UNECE Reg. 83 sobre Emisiones contaminantes (2011)

La DIRECTIVA 1994/94/CE DE LA COMISIÓN EUROPEA, obliga a los Estados Miembros de la Unión Europea a adaptar su legislación para implantar procedimientos de información sobre consumo y emisiones de CO₂ de los vehículos nuevos.

DIRECTIVA 2003/73/CE DE LA COMISIÓN de 24 de julio de 2003 por la que se modifica el anexo III de la Directiva 1999/94/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al formato y los requisitos mínimos que debe cumplir la información sobre el consumo de combustible y sobre las emisiones de CO₂ facilitada al consumidor al comercializar turismos nuevos.

DIRECTIVA COM (2007) 817 FINAL: Propuesta revisada de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la promoción de vehículos limpios y eficientes energéticamente de transporte por carretera. Incluye los criterios de selección y adjudicación que deben regir los contratos públicos para la

adquisición de este tipo de vehículos. Los criterios se basan en el nivel de emisiones contaminantes durante la vida útil de los vehículos.

DIRECTIVA 2009/33/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa a la promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes. La Directiva obliga a los poderes adjudicadores, a las entidades adjudicadoras y a determinados operadores que tengan en cuenta los impactos energético y medioambiental durante su vida útil, incluidos el consumo de energía y las emisiones de CO₂ y de determinados contaminantes, a la hora de comprar vehículos de transporte por carretera, a fin de promover y estimular el mercado de vehículos limpios y energéticamente eficientes y aumentar la contribución del sector del transporte a las políticas en materia de medio ambiente, clima y energía de la Comunidad.

REGLAMENTO (CE) 443/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 por el que se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros.

ESTRATEGIA EUROPEA SOBRE VEHÍCULOS LIMPIOS Y ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES. COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO Y AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO, COM (2010) 186 final. La Comunicación establece una estrategia para fomentar el desarrollo y el uso de vehículos pesados (camiones y autobuses) y ligeros (automóviles y furgonetas), así como de ciclomotores de dos y tres ruedas y cuadriciclos, limpios y energéticamente eficientes (ecológicos).

DIRECTIVA 2014/94/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, del 22 de octubre de 2014 relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos.

Normas EURO sobre los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión en nuevos vehículos de transporte (a partir de la entrada en vigor de cada una):

- EURO I,
- EURO II,
- EURO III,
- EURO IV,
- EURO V,
- EURO VI.

Actualmente, se encuentra en vigor la Norma EURO VI que establece estos valores límite de emisiones:

Categoría		Clase	Masa de referencia (MR) (kg)	Valores límite de la norma Euro 6											
				Masa de monóxido de carbono (CO)		Masa total de hidrocarburos (HCT)		Masa de hidrocarburos no metanos (HCNM)		Masa de óxidos de nitrógeno (NOx)		Masa combinada total de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT + NOx)		Masa de partículas (MP)	
				L ₁ (mg/km)		L ₂ (mg/km)		L ₃ (mg/km)		L ₄ (mg/km)		L ₂ + L ₄ (mg/km)		L ₅ (mg/km)	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI ⁽²⁾	CI	
M	—	Todos	1000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5,0	5,0	
N ₁	I	MR ≤ 1305	1000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5,0	5,0	
	II	1305 < MR ≤ 1760	1810	630	130	—	90	—	75	235	—	295	5,0	5,0	
	III	1760 < MR	2270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5,0	5,0	
N ₂			2270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5,0	5,0	

Clave: PI = encendido por chispa, CI = encendido por compresión

⁽¹⁾ Se establecerá una norma relativa al número lo antes posible y, a más tardar, tras la entrada en vigor de Euro 6.

⁽²⁾ Las normas sobre normas de masa de partículas de los vehículos de encendido por chispa se aplican únicamente a los vehículos con motores de inyección directa.

Tabla 6. Valores límite de emisión de contaminantes atmosféricos contenidos en la norma EURO VI para la homologación de nuevos vehículos. Fuente: Norma EURO VI

Algunos países que han generado legislación y normativa específica al respecto de estas tecnologías también se enumeran a continuación:

Estados Unidos:

EPA National Air Quality Monitoring Strategy: Ambient Air Monitoring Regulations

(EPA - Agencia de protección medioambiental de Estados Unidos)

Chile:

LEY DE TRÁNSITO 18.290

DECRETO N° 55, Santiago de Chile, del 8 de marzo de 1994 que establece normas de emisión aplicables a vehículos motorizados pesados.

Cuba:

RESOLUCIÓN 172-01 del Ministerio de Transporte del 17 de julio de 2001, sobre valores tope para el control de las emisiones de gases de los vehículos automotores

SB-NOT-7700T1S. Manual de aplicación de la resolución anterior

México:

Norma Oficial Mexicana NOM-041-ECOL-1999, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de vehículos automotores en circulación, que usan gasolina como combustible

Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2006, que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de vehículos automotores en circulación, que usan gasolina como combustible (modificación de la anterior)

Venezuela:

DECRETO 2.673 sobre emisiones de fuentes móviles

Sudáfrica:

South Africa Department of Minerals and Energy (2003), *White Paper on Renewable Energy*,

Colombia:

Ley N° 939, de diciembre de 2004 la por la que se autoriza la mezcla de biodiésel con diésel de petróleo, de conformidad con las normas de calidad que compete establecer al Ministerio de Energía y Minas y al Ministerio de Medio Ambiente.

En el caso concreto de **España**, se considera interesante nombrar la siguiente legislación y normativa relacionada:

Plan con medidas urgentes de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia (EECCCL) en el horizonte 2007-2012-2020. Fue aprobado por el Consejo de Ministros el 2 de noviembre del 2007 y entre otras medidas incluye:

- La modificación del impuesto de matriculación.
- El porcentaje mínimo de biocarburantes debe ser de un 5,75% para el 2010, según se estableció en la ORDEN ITC/2877/2008.
- Revisión para considerar como biocarburantes el biogás, biometanol, bioETBE, biocarburantes sintéticos, biohidrógeno, biodiesel, bioetanol y aceite vegetal según Directiva 2003/30/CE.
- Evaluar la modificación del impuesto de circulación en consonancia con los criterios incorporados al Proyecto de Calidad del aire y de la atmósfera de forma que se fije un cuadro de cuotas aplicable a los medios de transporte sobre la base de las emisiones de CO₂ y no sobre la potencia y clase de vehículo como se venía haciendo.

LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. Con ella entra en vigor una nueva fiscalidad de los automóviles, según la cual el impuesto de matriculación depende de las emisiones de CO₂ vertidas a la atmósfera.

Los aspectos más destacables son:

- Emisiones < 120 g CO₂ /km: exentos del pago del impuesto de matriculación.
- 121 g CO₂ /km ≤ Emisiones ≤ 160 g CO₂ /km: el impuesto de matriculación será del 4,75%.
- 161 g CO₂ /km ≤ Emisiones ≤ 200 g CO₂ /km: el impuesto de matriculación será del 9,75%.
- Emisiones > 200 g CO₂ /km: el impuesto de matriculación será del 14,75%.

LEY 22/2008 de 18 de Noviembre, por la que se incorporan al ordenamiento jurídico español directivas comunitarias en materia de fiscalidad de productos energéticos y electricidad y del régimen fiscal común aplicable a las sociedades matrices y filiales de estados miembros diferentes, y se regula el régimen fiscal de las aportaciones transfronterizas a fondos de pensiones en el ámbito de la Unión Europea.

En la citada ley se recogen los casos en los que es de aplicación la reducción o exención fiscal del Impuesto Especial de Hidrocarburos (IEH):

- Los biocombustibles como el biodiesel o el bioetanol, están exentos del pago de este impuesto.
- En el caso del GLP, el IEH es bastante reducido con respecto a los vehículos alimentados por combustibles fósiles tradicionales.

REAL DECRETO 837/2002, de 2 de agosto, por el que se regula la información relativa al consumo de combustible y a las emisiones de CO₂ de los turismos nuevos que se pongan a la venta o se ofrezcan en arrendamiento financiero en territorio español. Tiene como finalidad la de aportar una información precisa, pertinente y comparable sobre el consumo de combustible y emisiones de CO₂ que influya en la decisión del consumidor a favor de los automóviles que consuman menos combustible y por tanto, emitan menos CO₂.

ORDEN PRE/29/2004, de 15 de enero, por la que se modifica el Anexo III del Real Decreto 837/2002, de 2 de agosto, por el que se regula la información relativa al consumo de combustible y a las emisiones de CO₂ de los turismos nuevos que se pongan a la venta o se ofrezcan en arrendamiento financiero en territorio español.

RESOLUCIÓN de 27 de julio de 2007, de la Secretaría General de Industria, que actualiza el Real Decreto 837/2002, en lo relativo a los parámetros que determinan la media del consumo de los vehículos turismo nuevos que se pongan a la venta o se ofrezcan en arrendamiento financiero en territorio español.

ORDEN ITC/2877/2008, de 9 de Octubre, por la que se establece el mecanismo de fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables con fines de transporte, para alcanzar como objetivo el 5,75% de consumo de biocarburantes en el 2010.

ESTRATEGIA INTEGRAL PARA EL IMPULSO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN ESPAÑA, de 6 de abril de 2010. Plantea actuar en cuatro líneas principales:

- Fomento de la demanda.
- Industrialización e I+D+i.
- Fomento de la infraestructura de recargas y gestión de la demanda.
- Programas transversales (acciones de comunicación, aspectos regulatorios, normativos y de supresión de barreras legales, formación profesional específica y especializada).

5. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS

Fuentes bibliográficas, informes técnicos, congresos y presentaciones:

Informe sectorial Infraestructura: Análisis del sector transporte Uruguay. CAF. Ed. 2010

Usos de la energía en el transporte. Monografías Enertrans. M.P. Martín, A. García Álvarez. Ed. 2008

Balance Energético Preliminar 2013. Planificación, Estadística y Balance. MIEM Dirección Nacional de Energía de Uruguay (DNE), Ed. 2013

Evolución prevista del factor de emisión de CO₂ del sistema de generación de energía eléctrica de Uruguay - 2012 a 2020, Fernanda Maciel, Rubén Chaer, Mario Vignolo. Universidad de la República, Uruguay. IV ELAEE Ed. 2013

Factores de emisión de CO₂ eficaz. MIEM. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 2: Energía, Cuadro 1.4: "Factores de emisión de CO₂ por defecto para la combustión" Ed. 2007

Sector logístico. Oportunidades de inversión en Uruguay. Instituto Nacional de Logística de Uruguay. Ed. 2013

El automóvil, transporte en común del futuro. Observatorio Cetelem Auto 2014, Ed. 2014

Síntesis informativa energética de los países de la CIER. Datos de 2012. Comisión de Integración Energética Regional. Ed. 2013

World Energy Outlook 2013. International Energy Agency. Ed. 2013

Programa de Transporte Urbano de Montevideo (UR-L1025). Uruguay. Banco Interamericano de Desarrollo. Ed. 2008

La tecnología híbrida, lo mejor de dos mundos. El caso de Toyota. Karl Van Dijk, Toyota España. Ed. 2009

Tecnologías de propulsión híbridas y las evidencias científicas de su eficacia. Fundación Instituto tecnológico para la seguridad del automóvil. Ed. 2006

Eficiencia energética, en el Transporte, S.Gil UNSAM- ENARGAS. Ed. 2012. URE, Argentina

Transformación de motores para su utilización con energías alternativas. Ferrosite, Ed. 2014

Utilización de GNL como combustible en buques. Asociación de Ingenieros navales de España, Ed. 2012

El gas natural como combustible marino, Luis Guerrero, Bureau Veritas, Ed. 2013

Trabajo de Investigación: Gas Natural Licuado. Tecnología y mercado, J. Marcelo, Instituto Argentino de la Energía, Ed. 2006

Productos analíticos para apoyar la toma de decisiones sobre acciones de mitigación a nivel sectorial. Sector transporte. Anexos. Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional Universidad de los Andes Bogotá, Colombia para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Colombia. E. Behrentz; M. Espinosa; S. Joya; C. Peña; A. Prada Ed. 2014

Mapa tecnológico movilidad eléctrica. Observatorio Tecnológico de la Energía. Ministerio de Industria Energía y Turismo, España, Ed. 2012

GNL autonomía y emisiones: Utilización de GNL como combustible en buques. Asociación de Ingenieros navales de España, Ed. 2012

Guía "El Vehículo eléctrico para flotas", IDAE, Ed. 2012

Guía de la eficiencia energética en automoción, Agencia Andaluza de la Energía e IDAE, Ed. 2011

Influencia del contenido de biodiesel en gasóleo en el rendimiento térmico de un motor diesel ligero ensayado en tráfico real. FONSECA GONZÁLEZ, N., CASANOVA KINDELÁN, J., BETANCOURT ASTETE, R. VII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA TERMODINÁMICA CNIT, Bilbao Ed. 2011

Biocombustibles: la Agricultura al Servicio del Automóvil. Antonio Estevan, Universidad Politécnica de Madrid, Ed. 2008

Análisis del ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte, CIEMAT Madrid, Ed. 2005

El mercado emergente de biocombustibles: consecuencias normativas, comerciales y de desarrollo. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, Nueva York y Ginebra Ed. 2006

Diseño de ómnibus urbano con propulsión eléctrica a batería. Universidad Nacional de Cuyo, Institutos Multidisciplinarios. Argentina. Ed. 2012

Jornada sobre autos eléctricos. Rectorado de la Universidad Nacional de Cuyo, Argentina, Ed. 2012

El hidrógeno como vector energético. A. González García-Conde. Dpto. Aerodinámica y Propulsión Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, España, Ed. 2013

Global EV Outlook. Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020. Clean Energy Ministerial / EVI / IEA. Ed. 2013

Fuentes de internet:

www.astm.org

www.iso.org

www.iec.ch

<http://www.european-standardization-organizations.eu/>

www.bcu.gub.uy

www.mtop.gub.uy

http://ec.europa.eu/index_es.htm

<http://www.caf.com/es>

<http://www.galileoar.com/es/>

<http://www.toyota.com/>

www.Sankey-diagrams.com

<http://www.cier.org.uy/index.htm>

<http://www.anp.com.uy/>

www.veoverde.com/

<http://www.sunearthtools.com/>

<http://www.gnc.org.ar/es/enargas.html>

www.ferrosite.net

www.gnv.cl

www.imo.org

www.motorpasion.com/

<http://www.interempresas.net/>

<http://revistamotor.eu/>

<http://www.adac.de/>

www.agas21.com

<http://www.ethanolrfa.org/pages/statistics>

www.spritmonitor.de

<http://www.aficionadosalamecanica.net/>

6. ANEXO. BASE DE DATOS DE TECNOLOGÍAS EXISTENTES

Tecnologías disponibles		Características clave										Datos de la infraestructura requerida						
		Datos descriptivos										Datos cuantitativos de la tecnología						
		Tipo de vehículo o medio	Sistema/tipo de tracción	Nivel de madurez de tecnología	Norma internacional	Modo de transporte	Tipo de transporte	Tipo de fuentes de energía	Capacidad de Transporte	Rendimiento (consumo)	Autonomía (referida a un depósito estándar 70 l)	Emissiones de CO2 y otros contaminantes	Vida útil	Costo de la tecnología (incluye toda la requerida para su funcionamiento)	Estimación de precio CIF	Otros costos (mantenimiento, explotación)	Infraestructura adicional requerida, vida útil y costo aproximado	Observaciones
ID	Ref.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Individual/colectivo	Motor de combustión propulsado por combustibles derivados del petróleo	Tecnología tradicional	Gran variedad de normativa internacional relacionada con la seguridad y medio ambiente: Normas del comité ISO/TC vehiculos rodados Normas europeas EN Normas americanas ASTM	Todos modos	Pasajeros o mercancías, privado o público	Combustible fósil: petróleo	Debido a grandes potencias que puede desarrollar, existen vehículos de hasta 150 pasajeros y 44 Tn (tte. Terrestre carretero) y 400 pasajeros (aviación)	Valores Medio (gasolina/diesel) 0.40 kWh/km / 1.65 kWh/km (vh pesado)	Urbano: 500 km / Carretera: 800 km (Consumo medio de 0,07 l/km gasolina y 0,06 l/km diesel)	Emissiones de CO ₂ gasolina: 248.76 g/kWh - diesel: 200.88 g/kWh Emissiones de NO _x : 1.85 g/kWh Emissiones de NO ₂ : 5.3 g/kWh	Vehículos ordinarios aprox.: 20 años	Costo turismo ordinario: gama baja 10,000 USD / gama alta 60,000 USD	Costo turismo ordinario: gama baja 12,500 USD / gama alta 75,000 USD	Turismo ordinario gasolina: 4.960 USD/120,000 km - Diesel 6.720 USD. Coste de explotación variable en función de consumo, precio de barril brent y presión fiscal de cada Estado: 0.80-2.90 USD/litro. Coste actual aprox. 0.13 USD/km (gasolina); 0.10 USD/km (d)	Puntos de repostaje en gasolineras o áreas de servicio vida útil aprox. = 30 años Costo aprox. = 6 M USD	Este campo se toma como referencia para el resto de tecnologías
3.2.1	Tecnología con gas natural comprimido (GNC)	Individual	Motor de combustión propulsado por Gas Natural. Motores de ciclo diesel	Madurez y aplicabilidad elevadas	Norma ISO/TC 22 Normas Europeas EN Normas americanas NFTA UNECE Reg. 110 Compressed natural gas systems. UNECE Reg. 115 Specific CNG Retrofit Systemsto be installed in motor vehicles for the use of CNG in their propulsion system. UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1) Varios Estados ya poseen decretos internos para regular la tecnología	Terrestre (carretero)	Pasajeros privado o público	Combustible fósil: Gas natural comprimido	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional (44 Tn y 150 p). En marítimo y aéreo aun se encuentra en desarrollo para grandes cargas	47 MJ/kg = 13.05 kWh/kg = 0.456 kWh/km (referido a un consumo medio de 0.035kg/km y con una densidad de 0.423 kg/l)	GNC Carretera: 600 km - 800 km (consumo medio 0,035 kg/km)	Emissiones de CO ₂ : 180.36 g/kWh Emissiones de CO: 0.37 g/kWh Emissiones de NO _x : 1.06 g/kWh Emisión de partículas = 0.0	Similar al vehículo de combustión ordinario. Vida útil de depósitos en torno a 15-20 años	Costo del equipo de conversión a gas: 2.000 USD El costo del vehículo de GNC en origen suma un 25% más al costo del vehículo convencional	Costo del equipo para adaptación aprox. 2.500 USD Costo vh en origen: 20,000 USD	Mantenimiento muy similar a vehículo convencional. Se le añade el coste de revisión de instalación de GNP cada 4 años y cambio del filtro de gas cada 90.000 km. Aprox. 2,300 USD/año. Explotación: coste aprox. 0.05 USD/km	Estaciones de servicio, ratio medio variable: 1 / 100 vh - 1 / 800 vh. vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 70,000 USD (surtidor GNC incluida obra civil)	
		Colectivo	Motor de combustión propulsado por Gas Natural. Motores de ciclo diesel	Madurez y aplicabilidad elevadas	Norma ISO/TC 22 Normas Europeas EN Normas americanas NFTA UNECE Reg. 110 Compressed natural gas systems. UNECE Reg. 115 Specific CNG Retrofit Systemsto be installed in motor vehicles for the use of CNG in their propulsion system. UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1) Varios Estados ya poseen decretos internos para regular la tecnología	Terrestre (carretero / Ferroviario) aéreo	Pasajeros público	Combustible fósil: Gas natural comprimido	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional (150 p)	Vehículo tte. Colectivo dual 1.35 kWh/km (vh GNV puro 1.23 km/m ³)	GNC Carretera: 500 km - 700 km (consumo medio 0,045 kg/km)	Emissiones de CO ₂ : 190 g/kWh Emissiones de CO: 0.40 g/kWh Emissiones de NO _x : 1.10 g/kWh Emisión de partículas = 0.0	Similar al vehículo de combustión ordinario. Vida útil de depósitos en torno a 15 años	Costo del equipo de conversión a gas: 10,000 USD El costo del vehículo de GNC en origen suma un 25% más al costo del vehículo convencional	Costo del equipo para adaptación aprox. 12,500 USD Costo vh en origen: 60,000 USD / 100,000 USD	Mantenimiento muy similar a vehículo convencional. Se le añade el coste de revisión de instalación de GNP cada 4 años y cambio del filtro de gas cada 90.000 km. Aprox. 5,000 USD/120.000 km. Explotación: coste aprox. 0.05 USD/km	Estaciones de servicio, ratio medio variable: 1 / 100 vh - 1 / 800 vh. vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 70,000 USD (surtidor GNC incluida obra civil)	Al ser una tecnología en desarrollo los datos analizados varían considerablemente en función del estudio consultado
		Colectivo	Motor de combustión propulsado por Gas Natural. Motores de ciclo diesel	Madurez y aplicabilidad moderadas	Norma ISO/TC 22 Normas Europeas EN Normas americanas NFTA UNECE Reg. 110 Compressed natural gas systems. UNECE Reg. 115 Specific CNG Retrofit Systemsto be installed in motor vehicles for the use of CNG in their propulsion system. UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1) Varios Estados ya poseen decretos internos para regular la tecnología	Terrestre (carretero / Ferroviario) aéreo	Mercancías	Combustible fósil: Gas natural comprimido	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional (aprox. 44 Tn). En aéreo aun se encuentra aun en desarrollo para grandes cargas	Vehículo pesado dual 1.15 kWh/km	En general, menor autonomía que el GNL GNC Carretera: 400 km - 600 km (consumo medio 0,065 kg/km)	Emissiones de CO ₂ : 190 g/kWh Emissiones de CO: 0.40 g/kWh Emissiones de NO _x : 1.10 g/kWh Emisión de partículas = 0.0	Similar al vehículo de combustión ordinario. Vida útil de depósitos en torno a 15 años	El costo incremental de adquisición de los camiones GNC se estima en 40,000 USD	Costo vh en origen: 78,000 USD / 172,000 USD	Mantenimiento muy similar a vehículo convencional. Se le añade el coste de revisión de instalación de GNP cada 4 años y cambio del filtro de gas cada 90.000 km. Aprox. 5,000 USD/120.000 km. Explotación: coste aprox. 0.06 USD/km	Estaciones de servicio, ratio medio variable: 1 / 100 vh - 1 / 800 vh. vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 70,000 USD (surtidor GNC incluida obra civil)	Al ser una tecnología en desarrollo los datos analizados varían considerablemente en función del estudio consultado
3.2.1	Tecnología con gas Natural licuado (GNL)	Individual	Motor de combustión propulsado por Gas Natural. Motores de ciclo Otto. Existe posible combinación diesel-gas (tecnología dual fuel)	Madurez menor que GNC. Debido a elevados costes no se aplica en vehículos ligeros (turismos)	Norma ISO/TC 22 UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1)	Terrestre - carretero	Pasajeros (privado o público escasa aplicación)	Combustible fósil: Gas natural licuado	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional. En marítimo se utiliza ya para grandes cargas (portacontenedores) en aéreo se encuentra en desarrollo	0.456 kWh/km (vh convertido 13 km/m ³)	GNL Carretera: 600 - 700 km	Emissiones de CO ₂ : 180.36 g/kWh Emissiones de CO: 0.37 g/kWh Emissiones de NO _x : 1.06 g/kWh Emisión de partículas = 0.0	Similar al vehículo de combustión ordinario	30% superior al costo de vehículo homólogo convencional	Costo vh en origen: 20,000 USD / 80,000 USD	Tecnología dual: Mantenimiento muy similar a vehículo convencional. Se le añade el coste de revisión de instalación de GNP cada 4 años y cambio del filtro de gas cada 90.000 km. Aprox. 5,000 USD/120.000 km Explotación: coste aprox. 0.05 USD/km	Estaciones de servicio, ratio medio variable: 1 / 100 vh - 1 / 800 vh. Requiere torre de mantenimiento de licuefacción vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 80,000 USD (surtidor GNL incluida obra civil)	El proceso de licuefacción para generar el GNL y su almacenamiento supone un coste más elevado que el proceso de compresión del GNC
		Colectivo	Motor de combustión propulsado por Gas Natural. Motores de ciclo Otto. Existe posible combinación diesel-gas (tecnología dual fuel)	Madurez menor que GNC. Aplicabilidad cada vez mayor en vehículos pesados para carretera. Para transporte marítimo y aéreo se encuentra aun en desarrollo	Norma ISO/TC 22 UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1)	Terrestre (carretero / Ferroviario) y aéreo	Pasajeros	Combustible fósil: Gas natural licuado	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional	Vehículo tte. Colectivo = 1.25 kWh/km	GNL Carretera: 500 - 600 km	Emissiones de CO ₂ : 190 g/kWh Emissiones de CO: 0.40 g/kWh Emissiones de NO _x : 1.10 g/kWh Emisión de partículas = 0.0	Similar al vehículo de combustión ordinario	30% superior al costo de vehículo homólogo convencional	Costo vh en origen: 40,000 USD / 120,000 USD	El mantenimiento de vehículo con GNL 100% en origen es un 40% mayor que con tecnología dual.	Estaciones de servicio, ratio medio variable: 1 / 100 vh - 1 / 800 vh. Requiere torre de mantenimiento de licuefacción vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 80,000 USD (surtidor GNL incluida obra civil)	Debido al mayor coste del GNL con respecto al GNC se suele aplicar en mayor medida en transporte de mercancías (más rápida amortización por km recorridos). En el caso de Uruguay, este coste iría incluido en la importación
		Colectivo	Motor de combustión propulsado por Gas Natural. Motores de ciclo Otto. Existe posible combinación diesel-gas (tecnología dual fuel)	Aplicabilidad moderada cada vez mayor en vehículos pesados para carretera	Norma ISO/TC 22 UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1)	Terrestre (carretero / Ferroviario) y aéreo	Mercancías	Combustible fósil: Gas natural licuado	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional. En marítimo se utiliza ya para grandes cargas (portacontenedores) en aéreo se encuentra en desarrollo	Vehículo pesado 1.10 kWh/km (0.26 km/kg)	En general, mayor autonomía que el GNC. En torno a 600 - 900 km	Emissiones de CO ₂ : 190 g/kWh Emissiones de CO: 0.40 g/kWh Emissiones de NO _x : 1.10 g/kWh Emisión de partículas = 0.0	Similar al vehículo de combustión ordinario	El costo incremental de adquisición de los camiones GNL se estima en 54,000 USD	Costo vh en origen: 86,000 USD / 160,000 USD	El mantenimiento de vehículo con GNL 100% en origen es un 40% mayor que la tecnología dual	Estaciones de servicio, ratio medio variable: 1 / 100 vh - 1 / 800 vh. Requiere torre de mantenimiento de licuefacción vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 80,000 USD (surtidor GNL incluida obra civil)	Debido al mayor coste del GNL con respecto al GNC se suele aplicar en mayor medida en transporte de mercancías (más rápida amortización por km recorridos). En el caso de Uruguay, este coste iría incluido en la importación

Tecnologías disponibles		Características clave																
		Datos descriptivos								Datos cuantitativos de la tecnología					Datos de la infraestructura requerida			
		Tipo de vehículo o medio	Sistema/tipo de tracción	Nivel de madurez de tecnología	Norma internacional	Modo de transporte	Tipo de transporte	Tipo de fuentes de energía	Capacidad de Transporte	Rendimiento (consumo)	Autonomía (referida a un depósito estándar 70 l)	Emissiones de CO2 y otros contaminantes	Vida útil	Costo de la tecnología (incluye toda la requerida para su funcionamiento)	Estimación de precio CIF	Otros costos (mantenimiento, explotación, etc.)	Infraestructura adicional requerida, vida útil y costo aproximado	Observaciones
ID									Pasajeros o Ton/vehículo	kWh/km	km	g/km - g/kWh	años	USD	USD	USD		
			Turbinas de gas vinculadas a un único árbol de hélice. Un sistema de transmisión y embragues. En ocasiones apoyados por otro tipo de motores (diesel, eléctricos o vapor)	Madurez y aplicabilidad elevadas. En continuo desarrollo	Normativa Internacional IMO (International Maritime Organization) Guidelines on safety for natural gas-fuelled engine installations in ships Índice EEDI Convenio Marpol Directiva Europea 2005/33/EC	Fluvial / marítimo	Mercancías	Combustible fósil: Gas natural comprimido o licuado	Para pequeñas y grandes cargas (incluido propio transporte de GNL). Capacidad estándar de 140,000m3 (excepcionalmente 260,000 m3)	Gran variabilidad en función del tipo de motor, buque y capacidad. En general, el motor de 4 tiempos con gas posee un 8-9% más de eficiencia que el diesel	Muy variable en función del tipo de buque, barcaza, etc.	Muy variable en función del tipo de buque. Valores medios: Emisiones de CO2: 5 g/Tn y km Emisiones de NOx: reducción de 80-90% respecto al convencional Emisiones de SOx: 0.0 Emisión de partículas = 0.0	Vida útil variable del sistema entre 15-25 años. Depósitos según normativa específica	30% superior al costo de vehículo homólogo convencional	Costo similar a tecnología convencional	Según normas IMO el mantenimiento de las instalaciones de gas deben ser inspeccionadas según la normativa específica, especialmente depósitos. En general el GNL supone una reducción en costes de mantenimiento de instalaciones	Puntos de repostaje en áreas de servicios portuarios vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 80,000 USD (surtidor GNC incluida obra civil)	
3.2.2	Tecnología con biocombustibles (agrocombustibles)	Individual	Motor de combustión propulsado por biocombustibles en un porcentaje mezclado con combustible convencional	Nivel de madurez elevado. Aplicabilidad moderada en combinación con combustibles fósiles	Normas Europeas EN14214 / EN590 Normas americanas ASTM Directiva Europea 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003 relativa al fomento del uso de biocarburantes	Terrestre	Pasajeros, privado o público	Combustible procedente de materia orgánica vegetal (fermentación de azúcares o aceites vegetales). Principalmente bioetanol y biodiesel	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional	0.625 kWh/km Datos para biodiesel en una proporción del 28,55%, con diesel y consumo de vehículo 6.4 l/100 km.	Carretera: 700 km Datos para biodiesel en una proporción del 28,55%, con diesel y consumo de vehículo 6,4 l/100 km.	Datos para biodiesel en una proporción del 28,55%, con diesel Emisiones de CO2: 160 g/km Emisiones de CO: 0.018 g/km Emisiones de NOx: 0.042 g/km Emisión de partículas = 0.025 g/km	Vehículos ordinarios aprox.: 20 años	Sólo en el caso de que el vehículo sea biodiesel puro si será mayor el coste del mismo (un 10% más aprox. Para adaptación), si no, mismo coste que convencional	Costo vh en origen: 15,000 USD / 70,000 USD	Mantenimiento algo mayor al convencional: mayor frecuencia de sustitución de filtros de combustible y de aceite. Sustitución de juntas de caucho por juntas de viton o caucho fluorado. Introducción de filtros decantadores y tiempo de combustible en depósito < 1mes	Puntos de repostaje en gasolineras o áreas de servicio vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 20,000 USD (surtidor biodiesel no incluida obra civil)	
		Colectivo	Motor de combustión propulsado por biocombustibles en un porcentaje mezclado con combustible convencional	Nivel de madurez y aplicabilidad elevadas en combinación con combustibles fósiles	Normas Europeas EN14214 / EN590 Normas americanas ASTM Directiva Europea 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003 relativa al fomento del uso de biocarburantes	Terrestre	Pasajeros público	Combustible procedente de materia orgánica vegetal (fermentación de azúcares o aceites vegetales). Principalmente bioetanol y biodiesel	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional	Vehículo tte. colectivo 1.25 kWh/km	Carretera: 500 km	Datos para biodiesel en una proporción del 28,55%, con diesel Emisiones de CO2: 160 g/km Emisiones de CO: 0.018 g/km Emisiones de NOx: 0.042 g/km Emisión de partículas = 0.025 g/km	Vehículos ordinarios aprox.: 15 años	Sólo en el caso de que el vehículo sea biodiesel puro si será mayor el coste del mismo (un 10% más aprox. Para adaptación), si no, mismo coste que convencional	Costo vh en origen: 25,000 USD / 80,000 USD	Mantenimiento algo mayor al convencional: mayor frecuencia de sustitución de filtros de combustible y de aceite. Sustitución de juntas de caucho por juntas de viton o caucho fluorado. Introducción de filtros decantadores y tiempo de combustible en depósito < 1mes	Puntos de repostaje en gasolineras o áreas de servicio vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 20,000 USD (surtidor biodiesel no incluida obra civil)	
			Motor de combustión propulsado por biocombustibles en un porcentaje mezclado con combustible convencional	Nivel de madurez elevado. Aplicabilidad elevadas en combinación con combustibles fósiles	Normas Europeas EN14214 / EN590 Normas americanas ASTM Directiva Europea 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003 relativa al fomento del uso de biocarburantes	Terrestre	Mercancías	Combustible procedente de materia orgánica vegetal (fermentación de azúcares o aceites vegetales). Principalmente bioetanol y biodiesel	Para modo terrestre la capacidad de transporte es similar a tecnologías con combustible tradicional	Vehículo pesado 1.35 kWh/km. Consumo medio: 35 l / 100 km (capacidad hasta 25 Tn)	Carretera: 400-800 km	Datos para biodiesel en una proporción del 28,55%, con diesel Emisiones de CO2: 160 g/km Emisiones de CO: 0.018 g/km Emisiones de NOx: 0.042 g/km Emisión de partículas = 0.025 g/km	Vehículos pesados aprox.: 15 años	Sólo en el caso de que el vehículo sea biodiesel puro si será mayor el coste del mismo (un 10% más aprox. Para adaptación), si no, mismo coste que convencional	Costo vh en origen: 15,000 USD / 80,000 USD	Mantenimiento algo mayor al convencional: mayor frecuencia de sustitución de filtros de combustible y de aceite. Sustitución de juntas de caucho por juntas de viton o caucho fluorado. Introducción de filtros decantadores y tiempo de combustible en depósito < 1 mes	Puntos de repostaje en gasolineras o áreas de servicio vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 20,000 USD (surtidor biodiesel no incluida obra civil)	
3.2.3	Tecnología híbrida regular (eléctrica/gasolina)	Individual	Motor eléctrico combinado con motor de combustión, con aprovechamiento de freno-motor para recarga de baterías	Madurez y aplicabilidad elevadas. Aún en continuo desarrollo, pudiendo variar tipos de mecánica (IS250 o IS300h) y de consumos y emisiones de CO2	Regulación específica en desarrollo (emisión prevista en 2014) según acuerdo entre UE, EEUU y Japón en el <i>Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos</i> (Ginebra 2011). UNECE Reg. 100 Add. 99 Battery electric vehicles safety (2013) UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1) UNECE	Terrestre - carretero	Pasajeros, privado	Eléctrica (hidroeléctrica, solar, eólica y fuentes no renovables) y derivado del petróleo	Su aplicabilidad por el momento se está limitando a transporte terrestre de pasajeros (privado o público)	Rto. Global: 0.187 kWh/km. En equivalencia con combustión se tiene Promedio de 15 km/litro	Urbano: 600 km / Carretera: 800 km	Las últimas tecnologías desarrolladas ofrecen emisiones máximas de CO2 de 100 g/km. Las baterías son altamente contaminantes y requieren un tratamiento especial al final de su vida útil por el fabricante	Similar al vehículo de combustión ordinario. Estimación de vida útil de baterías eléctricas: 7-10 años / 240.000-480.000 km (aprox.)	Costo turismo ordinario: gama baja 18,500 USD / gama alta 45,000 USD	Costo turismo ordinario: 23,200 USD - 56,250 USD	Costes de mantenimiento ordinario: 1.800 USD/120,000 km. Coste sustitución de baterías: 2.500 USD Explotación: coste aprox. 0.087 USD/km (variable en función del precio del petróleo)	No se requiere infraestructura adicional ademas de gasolineras ordinarias	
		Colectivo	Motor eléctrico combinado con motor de combustión, con aprovechamiento de freno-motor para recarga de baterías	Madurez y aplicabilidad elevadas. Aún en continuo desarrollo, pudiendo variar tipos de mecánica (IS250 o IS300h) y de consumos y emisiones de CO2	Regulación específica en desarrollo (emisión prevista en 2014) según acuerdo entre UE, EEUU y Japón en el <i>Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos</i> (Ginebra 2011). UNECE Reg. 100 Add. 99 Battery electric vehicles safety (2013) UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1) UNECE	Terrestre - carretero / Ferroviario	Pasajeros, público	Eléctrica (hidroeléctrica, solar, eólica y fuentes no renovables) y derivado del petróleo	Su aplicabilidad por el momento se está limitando a transporte terrestre de pasajeros (privado o público), con capacidades de hasta 150 personas (autobuses de alta capacidad)	Rto. Eléctrico: 0.85 kWh/km	Urbano: 500 km / Carretera: 700 km	Las últimas tecnologías desarrolladas ofrecen emisiones máximas de CO2 de 100 g/km. Las baterías son altamente contaminantes y requieren un tratamiento especial al final de su vida útil por el fabricante	Similar al vehículo de combustión ordinario. Estimación de vida útil de baterías eléctricas: 7-10 años / 240.000-480.000 km (aprox.)	Costo vehículo: 70,000 USD / gama alta 100,000 USD	Costo vehículo: 87,500 USD / gama alta 125,000 USD	Costes de mantenimiento ordinario: 2.000 USD/120,000 km. Coste sustitución de baterías: 2.500 USD Explotación: coste aprox. 0.087 USD/km (variable en función del precio del petróleo)	No se requiere infraestructura adicional ademas de gasolineras ordinarias	
3.2.4	Tecnología híbrida regular (eléctrica/GNC)	Individual	Motor eléctrico combinado con motor de combustión de gas natural, con aprovechamiento de freno-motor para recarga de baterías	Madurez y aplicabilidad elevadas. Aún en continuo desarrollo, se considera la tracción menos contaminante del mercado tras el VE	Deben cumplir la normativa aplicable a tecnología eléctrica y a GNC por separado	Terrestre - carretero	Pasajeros, privado o público	Eléctrica (hidroeléctrica, solar, eólica y fuentes no renovables) y GNC	Su aplicabilidad por el momento se está limitando a transporte de pasajeros (privado o público), con capacidades de hasta 150 personas (autobuses de alta capacidad)	Consumo de 0.0318 kg GNC/km Equivalencia con combustión 31.2 km/l (rto híbrido eléctrico GNC)	Urbano: 600 km / Carretera: 800 km	Emisiones de CO2: 89 g/km Emisiones de CO: 0.35 g/kWh Emisiones de NOx: 1.02 g/kWh Emisión de partículas = 0.0	Similar al vehículo de combustión ordinario. Estimación de vida útil de baterías eléctricas: 7-10 años / 240.000-480.000 km (aprox.)	Costo turismo ordinario (considerado costes de adaptación para GNC): gama baja 20,500 USD / gama alta 47,000 USD	Costo turismo ordinario: 25,625 USD - 58,750 USD	Mantenimiento similar a vehículo convencional. Se le añade el coste de revisión de instalación de GNP cada 4 años y cambio del filtro de gas cada 90.000 km y sustitución de baterías. Explotación: coste aprox. 0.062 USD/km (incluye coste de GNC y proporcional de gasolina para arranque: 1.16 l/100 km)	Puntos de repostaje en gasolineras o áreas de servicio vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 80,000 USD (surtidor GNC incluida obra civil)	
		Colectivo	Motor de combustión y motor/es eléctrica/s alimentado/s por un grupo de ultracondensadores. Acumuladores aprovechan la energía de las frenadas	Madurez y aplicabilidad moderadas. Aún en continuo desarrollo, se considera la tracción menos contaminante del mercado tras el VE	Deben cumplir la normativa aplicable a tecnología eléctrica y a GNC por separado	Terrestre - carretero / Ferroviario	Pasajeros público y pequeñas mercancías	Eléctrica (hidroeléctrica, solar, eólica y fuentes no renovables) y GNC	Transporte público de pasajeros, con capacidades de hasta 150 personas (autobuses de alta capacidad). Para mercancías limitado a bajas cargas (correos, industria farmacéutica...)	Consumo de 0.68 kg GNC/km	Urbano: 600 km / Carretera: 800 km	Emisiones de CO2: 89 g/km Emisiones de CO: 0.35 g/kWh Emisiones de NOx: 1.02 g/kWh Emisión de partículas = 0.0	Similar al vehículo de combustión ordinario. Estimación de vida útil de baterías eléctricas: 7-10 años / 240.000-480.000 km (aprox.)	Costo vehículo estándar tte. público: 80,000 / 120,000 USD	Costo vehículo estándar tte. público: 100,000 / 150,000 USD	Mantenimiento similar a vehículo convencional. Se le añade el coste de revisión de instalación de GNP cada 4 años y cambio del filtro de gas cada 90.000 km y sustitución de baterías. Explotación: coste aprox. 0.062 USD/km (incluye coste de GNC y proporcional de gasolina para arranque: 1.16 l/100 km)	Puntos de repostaje en gasolineras o áreas de servicio vida útil aprox. = 20 años Costo aprox. = 80,000 USD (surtidor GNC incluida obra civil)	

Tecnologías disponibles		Características clave																
		Datos descriptivos						Datos cuantitativos de la tecnología						Datos de la infraestructura requerida				
ID		Tipo de vehículo o medio	Sistema/tipo de tracción	Nivel de madurez de tecnología	Norma internacional	Modo de transporte	Tipo de transporte	Tipo de fuentes de energía	Capacidad de Transporte	Rendimiento (consumo)	Autonomía (referida a un depósito estándar 70 l)	Emisiones de CO2 y otros contaminantes	Vida útil	Costo de la tecnología (incluye toda la requerida para su funcionamiento)	Estimación de precio CIF	Otros costos (mantenimiento, explotación)	Infraestructura adicional requerida, vida útil y costo aproximado	Observaciones
									Pasajeros o Ton/vehículo	kWh/km	km	g/km - g/kWh	años	USD	USD	USD		
3.2.5	Tecnología eléctrica pura (VE)	Individual	Motor eléctrico enchufable	En proceso de desarrollo, mejorando autonomías	Normas ISO Normas del IEC Normas Europeas EN UNECE Reg. 100 Battery electric vehicles safety UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1)	Terrestre - carretero	Pasajeros, privado	Eléctrica (hidroeléctrica solar, eólica y fuentes no renovables)	Su aplicabilidad por el momento se está limitando a transporte privado y público de pasajeros de hasta 80-100 personas (capacidad media-alta)	0.15kWh/km (gama baja) / 0.30 kWh/km (gama alta)	Autonomía máxima actual: 200 km (gama media) y 500 km (gama alta)	0 emisiones en energía secundaria. En energía primaria depende de la fuente de origen	Vida útil 10-15 años. Las baterías están garantizadas para 8 años y 200,000 km (aprox.)	Costo turismo ordinario: gama baja 35,000 USD / gama alta 80,000 USD	Costo turismo ordinario: gama baja 43,000 USD / gama alta 100,000 USD	Costes de mantenimiento ordinario: 1,450 USD/120,000 km (Audatex) / 1,900 USD/año (U. Andes) Explotación: coste aprox. 0.022 USD/km	Se requiere instalación de puntos de recarga en ciudad/gasolineras Vida útil aprox. = 10 años Costo aprox. = 15,000 USD	
		Colectivo	Motor eléctrico de gran variabilidad con suministro permanente de la red eléctrica (sistema de contacto permanente tipo catenaria)	En el ffcc y STC se encuentra completamente consolidado	Normas ISO Normas del IEC Norma NFPA-130 (USA) Fichas UIC material rodante series 500-800 Directiva 2012/34/UE del P. Europeo Reglamento 881/2004 del P. Europeo Normas CEN / CENELEC Norma Europea 12927 Seguridad STC	Terrestre - Ferroviario / sistemas por cable (STC)	Pasajeros / mercancías	Eléctrica (hidroeléctrica, solar, eólica y fuentes no renovables)	Elevada capacidad de transporte tanto mercancías como pasajeros	ffcc: 0.13 kWh/km y pasajero (Commuter) - 0.07 kWh/km y pasajero (Alta Velocidad)	Autonomía indefinida mientras se disponga de suministro	nulas emisiones en energía secundaria. En energía primaria depende de la fuente de origen	Vida útil 25-30 años	Costo locomotora diesel-eléctrica ordinaria (20Tn/eje) = 3.5 millones USD Coste cabina STC = 50,000 USD	Precio en importación = 4.4 millones USD	Costes elevados de mantenimiento en comparación con el campo de referencia. Costes de explotación también muy elevados	Infraestructura ferroviaria / del propio STC. Vida útil = 40 años (variable) / 30 años Costo aprox. = 6 MUSD/km	
		Colectivo	Motor eléctrico enchufable	En el sector carretero, en proceso de mejora de autonomías	Normas ISO Normas del IEC Normas Europeas EN UNECE Reg. 100 Battery electric vehicles safety UNECE Reg. 101 CO2 emission/fuel consumption (M1) and electric energy consumption and range (M1 and N1)	Terrestre - carretero	Pasajeros / pequeñas mercancías, privado o público	Eléctrica (hidroeléctrica, solar, eólica y fuentes no renovables)	Su aplicabilidad por el momento se está limitando a transporte privado y público de pasajeros de hasta 80-100 personas (capacidad media-alta). Para mercancías limitado a bajas cargas (correos, industria farmacéutica...)	1.67-2.2 kWh/km (vh de tte. público alta capacidad)	Autonomía máxima actual = 200 km	nulas emisiones en energía secundaria. En energía primaria depende de la fuente de origen	Vida útil 10-15 años. Las baterías están garantizadas para 8 años y 160,000 km	Costo vehículo estándar tte. público: 70,000 / 120,000 USD	Costo vehículo estándar tte. público: 87,500 / 150,000 USD	Costes de mantenimiento ordinario: 30,000 USD/año Explotación: coste aprox. 0.028 USD/km	Se requiere instalación de puntos de recarga en ciudad/gasolineras Vida útil aprox. = 10 años Costo aprox. = 15,000 USD	Al ser una tecnología en desarrollo los datos analizados varían considerablemente en función del estudio consultado