

# **Energías alternativas para el transporte de pasajeros**

---

**El caso de la CAPV: análisis y recomendaciones para un  
transporte limpio y sostenible**

**Álvarez Pelegry, Eloy**  
**Menéndez Sánchez, Jaime**

**Mayo de 2017**

## Documentos de Energía\*

Eloy Álvarez Pelegry<sup>a</sup>; Jaime Menéndez Sánchez<sup>b</sup>

*C/ Hermanos Aguirre nº 2. Edificio La Comercial, 2ª planta. 48014 Bilbao*

*Phone<sup>a</sup>: -. Fax: 94.413.93.39.*

*E-mail: ealvarezpelegry@orquestra.deusto.es*

*Phone<sup>b</sup>: -. Fax: 94.413.93.39.*

*E-mail: Jaime.menendez@orquestra.deusto.es*

Códigos JEL: Q42, L62, L91, L92

Palabras clave: transporte, pasajeros, vehículos de energías alternativas, emisiones de GEL, emisiones de contaminantes, eléctrico, gas natural comprimido, GLP, híbrido, desplazamientos y escenarios

Las opiniones, análisis y comentarios recogidos en este documento reflejan la opinión de los autores y no necesariamente de las instituciones a las que pertenecen. Cualquier error es únicamente atribuible a los autores.

Los autores quieren agradecer a Manuel Bravo su valiosa contribución a este trabajo así como a Macarena Larrea Basterra y a Roberto Álvaro Hermana su inestimable ayuda; y a María Asunción Angulo su colaboración.

También desean reconocer a los profesionales y empresas que han compartido con ellos su conocimiento, permitiéndoles también contrastar ideas. Entre estos se encuentran, por orden alfabético, Ana Belén Juara, Ángel Luis Vivar, Carlos Castillo de Ihobe (Gobierno Vasco), Enrique Monasterio, Fernando Temprano, Francisco González, GASNAM, Ibai Garate de ALSA, Jorge Ramos, Jose Ángel Peña de D. P. del Transporte (Gobierno Vasco), Manuel Parrondo de ALSA, Marian Barquin de Ihobe (Gobierno Vasco) y May López Díaz.

---

\* Documento: Escrito con el que se prueba, edita o hace constar una cosa (Casares). Escrito en que constan datos fidedignos o susceptibles de ser empleados como tales para probar algo (RAE). "Documentos de Energía" constituye una serie de textos que recoge los trabajos promovidos o realizados por la Cátedra de Energía de Orkestra.

## PRESENTACIÓN

Por Emiliano López Atxurra

**Presidente del Comité de Patronos de la Cátedra de Energía de Orkestra-IVC**

En Enero de 2015, Washington D.C., recibió a 12.000 personas que participaron en la reunión anual del Transportation Research Board, de la Academia Nacional del Transporte de EE. UU. Profesionales del transporte, desde académicos a responsables públicos, pasando por representantes del mundo empresarial, provenientes de todo el mundo, consideran este evento como el espacio de encuentro para discutir sobre los desafíos del transporte y presentar los avances más significativos. En el encuentro de 2015 el tema central fue "Corredores del futuro: Transporte y Tecnología". En particular, se trató el impacto disruptivo de la tecnología en el transporte, donde participaron desde China e India hasta América Latina, pasando por nuestro mundo occidental.

El transporte ha sido parte central de la historia económica de la humanidad al igual que lo ha sido la energía. Ha sido sinónimo de movilidad de personas y mercancías y, en la sociedad actual, el transporte de los datos y su gestión está adquiriendo un protagonismo central en la economía.

Un sistema de transporte eficiente y sostenible es también sinónimo de desarrollo económico y bienestar, así como un termómetro cualificado sobre el grado de avance de una sociedad.

El transporte y la energía están asociados de manera estructural y, en el presente siglo, la movilidad y la energía son dos caras de la misma moneda, entre otras, por tres profundas razones.

La primera, por el impacto de las políticas internacionales, europeas y domésticas en materia de descarbonización, con el acervo jurídico consecuente referente a la movilidad urbana.

La segunda, por la revolución digital que estamos viviendo y que está afectando el modo y la manera de organizar y vivir en las sociedades urbanas modernas.

La tercera, por la evolución tecnológica que está transformando energéticamente la movilidad y la gestión de la energía en el hábitat urbano.

Es conveniente también, no perder de vista que el transporte es parte de la transición energética lanzada por la Unión Europea, emprendida por países como Alemania o Francia y otros como Noruega, cuya riqueza, por cierto, está asociada a los combustibles fósiles.

En este contexto de profundas transformaciones, incertidumbres y desafíos, se aborda el estudio que presentamos sobre el transporte de pasajeros en la

Comunidad Autónoma del País Vasco. Una Comunidad cuyo territorio está marcado por su geografía urbana y económica, que se caracteriza por ser una Ciudad Región en parámetros europeos y que evoluciona transfronterizamente hacia una integración con el sistema urbano del Sur de Aquitania. Un territorio de conexión entre el Continente europeo y la Península Ibérica. Un espacio urbano cuya competitividad en parámetros europeos pasa por una conectividad interior y exterior eficiente y eficaz. Un espacio urbano que le convierte en un laboratorio de primer orden para desplegar estrategias orientadas a disponer de un sistema energético inteligente, sostenible y eficiente en línea con los objetivos marcados por la transición energética europea.

En este contexto debemos mirar las estrategias de transporte. Para ello hemos empezado con este primer análisis sobre el transporte en País Vasco. Abordar el transporte, máxime si se quiere planificar mirando al futuro de los próximos diez años, requiere una manera de pensar diferente a la forma convencional de evaluar y planificar.

Ello se debe a que la nueva revolución digital y el anclaje en el acervo jurídico internacional y comunitario de las políticas de descarbonización están transformando la movilidad y en consecuencia, no solo las formas y usos del transporte, sino principalmente, la posición del ciudadano como cliente urbano con herramientas para ser un actor activo y no pasivo.

Además, a la revolución digital en la movilidad le sumamos el impacto de la revolución digital en la transición energética impulsada por la Unión Europea y los países motores de Europa.

Ambos escenarios está convergiendo de manera significativa, no solo por las políticas orientadas a un transporte sostenible sino principalmente por la irrupción disruptiva de los líderes de la economía digital, que han puesto el foco en los "agujeros negros" del viejo negocio del transporte y de la energía y que está transformando el pensamiento convencional energético en materia de movilidad, donde la acumulación y la movilidad eléctrica nos deben hacer pensar en un modo diferente a la hora de contemplar el consumo energético convencional en el hábitat urbano.

El transporte, mejor dicho la movilidad, y la energía son partes inescindibles. En el desarrollo de los diferentes sistemas de transporte y en la velocidad de su evolución han sido protagonistas tanto las transformaciones tecnológicas como los diferentes tipos de combustibles.

Siendo esto cierto, no lo es menos que la sostenibilidad del crecimiento urbano que protagoniza el mundo del siglo XXI y la revolución digital hacen que la movilidad y la energía compartan el mismo espacio de desarrollo y crecimiento en todos sus órdenes.

Con la mirada puesta en este escenario, la transición energética en la que hemos entrado no significa dar saltos en el vacío. Significa la convivencia de la energía convencional mejorada y optimizada conforme a los parámetros de exigencia en materia medioambiental y optimización de los motores de combustión, con las nuevas formas energéticas de movilidad donde la electrificación y la acumulación adquieren un peso creciente. No hay saltos en el vacío pero sí hay cambios cualitativos y, en algún caso, disruptivos en la forma de entender y abordar la movilidad.

El estudio que presentamos, amable lector, es una aproximación seria al transporte en el País Vasco y la base para ir construyendo, con una nueva mirada, una política del transporte sostenible y eficiente en una sociedad urbana moderna. Una mirada que también conduce a la competitividad económica del País. No hay territorio competitivo sin movilidad eficaz y eficiente.

No quisiera terminar esta presentación sin una mención especial a los autores de este estudio, el Director de la Cátedra de Energía, Dr. Eloy Álvarez Pelegry y Jaime Menéndez Sánchez, junto con el equipo de la Cátedra por el trabajo realizado, así como al Ente Vasco de Energía por la confianza depositada en la Cátedra de Energía para la realización del mismo.

## ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL TRANSPORTE: NECESIDAD, OPORTUNIDAD Y RETOS

Por Eloy Álvarez Pelegry

Director de la Cátedra de Energía de Orchestra-IVC

Este estudio está estructurado en cinco capítulos. Se parte de la situación del transporte de pasajeros en la CAPV: consumo energético y emisiones, y se examinan las políticas que afectan al transporte a nivel comunitario, español y del País Vasco. También se revisan los aspectos técnicos, económicos y ambientales del mismo; y no menos importante, se analiza, en el último capítulo, la incorporación de vehículos de energías alternativas, en base a diferentes supuestos e hipótesis.

También se ha elaborado un resumen en el que se incluyen los principales resultados del estudio y las conclusiones más relevantes del mismo.

El conjunto de los temas tratados se plasma en un documento con una considerable extensión, por lo que, seguramente, muchos lectores se preguntarán cuáles son, en síntesis, las conclusiones más importantes y las recomendaciones que se pueden extraer de este trabajo.

En estas primeras páginas, el lector puede encontrar los principales mensajes de este trabajo, así como algunas sugerencias para poder implantar mejor la penetración de los vehículos de energías alternativas en el transporte privado de pasajeros por carretera.

A continuación se examina la necesidad y la oportunidad del cambio, junto con los retos que hay que abordar.

### ***Necesidad***

Es preciso avanzar en la penetración de energías o combustibles alternativos en el transporte. Las tendencias en este campo vienen, por un lado, por la Directiva comunitaria 2014/94/UE para el Desarrollo de Infraestructura de Combustibles Alternativos (DAFI, *Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure*, en inglés), y, más concretamente, por la necesidad de implementar el Marco de Acción Nacional de Energías Alternativas en el Transporte.

Las alternativas energéticas a los combustibles convencionales en el transporte son varias: el vehículo eléctrico, ya sea de batería o el híbrido enchufable, el de gas natural comprimido, el de gases licuados del petróleo o el híbrido convencional<sup>2</sup>. Estas alternativas, identificadas en general como vehículos de energías alternativas

---

<sup>2</sup> En lo que se refiere a estas alternativas el estudio no tiene en cuenta el vehículo eléctrico de hidrógeno por las razones que en él se detallan. Los biocombustibles se consideran en relación con los porcentajes que indican las directivas.

(VEA), presentan características propias y diferentes en términos de sobrecoste de vehículos, inversión en infraestructuras, combustibles o emisiones.

La necesidad de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y la transición hacia una economía baja en carbono son cada vez más evidentes; por ello, el transporte tendrá que acelerar el paso para la transformación energética y para reducir emisiones.

Este estudio combina el análisis “de arriba a abajo”, ya que examina políticas energéticas, medioambientales y de transporte en tres niveles diferentes: Europa, España y el País Vasco, con el análisis “de abajo a arriba”, al identificar las emisiones, los combustibles, los vehículos alternativos y sus infraestructuras.

Puede decirse, por tanto, que la penetración de vehículos con energías alternativas tiene una doble “presión”, “de arriba a abajo” por la lucha contra el cambio climático, y “de abajo a arriba”, por la necesidad de reducir emisiones contaminantes en el nivel local y regional.

“De arriba a abajo”, en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV), las políticas de la Estrategia 3E-2030, las de transporte y las de cambio climático, apuntan con claridad a la penetración progresiva de otras energías en el transporte<sup>3</sup>. En este sentido, se plantea que el consumo de otras energías en el transporte alcancen el medio millón de toneladas equivalentes de petróleo (tep) en 2030, lo que equivaldría a un 25% del consumo energético en el transporte.

Asimismo, en ese contexto, se pretende lograr en el transporte por carretera un ahorro energético del 11% en el año 2025 y del 19% en 2030 y reducir los derivados del petróleo en un 10% en el año 2025 y en un 30% en el 2030 (reducciones sobre el año 2015).

En cuanto a la reducción de emisiones de GEI, el objetivo es una disminución del 40% en 2030 para tratar de llegar al 80% en 2050, disminuciones ambas sobre el año 2005. Esto implica un claro y continuado esfuerzo de reducción de emisiones. En cuanto a las emisiones de contaminantes, no parecen existir objetivos para los mismos pero, en cualquier caso, la tendencia hacia la mejora de la calidad del aire, en particular en las ciudades, es cada vez más acusada.

El enfoque “de abajo a arriba” puede verse como un análisis de lo local a lo global. Las emisiones de contaminantes, *in situ* o en el ámbito local, en particular de óxidos de nitrógeno, y también el NO<sub>2</sub> y partículas, deben reducirse. Por otra parte, también es necesario disminuir las emisiones globales de GEI.

La diferencia entre lo global y lo local es importante, ya que afecta tanto a la identificación del tipo de energías, en función del objetivo (i.e. disminución de contaminación local, NO<sub>x</sub> o partículas, o global de GEI), como al enfoque

---

<sup>3</sup> Estos aspectos son los que se examinan en detalle en el capítulo 3 de este estudio.

metodológico para evaluar las emisiones (i.e. del tanque a la rueda, TTW, del pozo a la rueda, WTW, o del sistema energético a la rueda, STW).

Por ello, se ha realizado un análisis económico y medioambiental que no sólo considera las emisiones del tanque a la rueda y del pozo a la rueda, sino también las emisiones del sistema energético español a la rueda.

Así pues, la sustitución, progresiva, de las energías convencionales (gasolinas y gasóleos) por otras energías alternativas para el transporte de pasajeros es una necesidad, pero también una oportunidad para contribuir a los diferentes objetivos.

### ***Oportunidad para el cambio***

La CAPV cuenta con una alta densidad de infraestructuras y de medios de transporte (bien sea en términos de kilómetros de carreteras por habitante o de vehículos por habitante). Cuenta, además, con un importante desarrollo en infraestructuras generales de transporte y distribución de electricidad y de gas natural. La creación de IBIL y su progresiva implantación han creado ya una cierta infraestructura de recarga eléctrica. Todo ello constituye una oportunidad para el desarrollo de los VEA.

En base al estudio de varios casos, y de acuerdo con los supuestos y los análisis económicos y medioambientales, este estudio evalúa las alternativas para el transporte privado de pasajeros por carretera en vehículos de gasolina y gasóleos por el vehículo eléctrico de batería o enchufable (BEV y PHEV), por el de gas natural comprimido (GNC), por el de gases licuados del petróleo (GLP) y por los híbridos.

Se comparan los diferentes VEA según cuatro criterios: ahorro de combustible, eficiencia económico-medioambiental para la reducción de GEI, menores costes para el conjunto de las emisiones (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas) y contribución a los objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El estudio realizado cubre un 72% de los desplazamientos diarios entre comarcas del País Vasco, por lo que se puede considerar representativo de la totalidad de la CAPV. Las conclusiones pueden servir, por tanto, para establecer políticas y estrategias, de aplicación e implementación en el País Vasco.

Asimismo se contemplan dos enfoques distintos pero complementarios: las sustituciones “totales” o completas por parques “monoenergéticos” y la incorporación progresiva, en la que participan diferentes tipos de vehículos de energías alternativas.

Con el enfoque de sustituciones por parques “monoenergéticos”, los resultados muestran que, con los criterios de comparación de los diferentes tipos de vehículos, en términos de eficiencia económica ambiental de GEI, son los de GLP y los híbridos convencionales los más eficaces. En ahorro de combustibles, e indirectamente en la reducción de importaciones de petróleo, son los eléctricos de batería (BEV) y los de gas natural los que resultan más interesantes.



En lo que a contribución a los objetivos de reducción de GEI se refiere, son los eléctricos (BEV y PHEV) los que tienen clara prelación. En reducción de costes medioambientales (GEI, NO<sub>x</sub> y partículas), los híbridos enchufables y los híbridos convencionales resultan los más interesantes.

Si se consideran de manera conjunta todos los criterios y se les otorga distintas ponderaciones, el panorama general es la prelación de los eléctricos e híbridos, quedando en posiciones intermedias o finales los de gas natural y los de GLP (este último, hay que recordar, es el primero en términos de eficiencia económico-medioambiental).

En términos globales, para convertir el 100% de los turismos convencionales (gasóleo y gasolina) de los casos seleccionados en la CAPV, el sobrecoste en vehículos eléctricos sería del orden de 4.800 millones de euros y sería necesario invertir un cifra de unos 570 millones de euros en infraestructuras de recarga. Ahora bien, con los supuestos de precios del estudio, se ahorrarían cerca de 600 millones de euros anualmente en combustible, lo que significa que la recuperación del sobrecoste de vehículos con el ahorro de combustible se produciría en unos ocho años.

Estas cifras deben verse en el contexto de los resultados que logran, dado que se conseguiría reducciones entre 1,5 y 1,8 millones de toneladas CO<sub>2eq</sub>/año. Esa reducción sería a perpetuidad, por tanto se solventaría así el problema de emisiones de gases de efecto invernadero en cantidades muy importantes, al igual que sucede con las emisiones de NO<sub>x</sub>: 741 t/año (TTW), o de partículas: 56 t/año (TTW), ambas a perpetuidad.

El sobrecoste de vehículos e inversión en infraestructuras son sustancialmente menores cuando las sustituciones son por GLP y gas natural, si bien las reducciones de emisiones son también claramente inferiores. Por este motivo se ha identificado, como uno de los criterios, el de eficiencia económico-ambiental de CO<sub>2eq</sub> para estimar el coste-beneficio de estas sustituciones.

Dicho lo anterior, estas cifras, relativas a sustituciones totales, de carácter macro, deben compararse con las de las sustituciones progresivas, en las que, tanto en sobrecostes de vehículos como en ahorro de combustible y reducción de emisiones, las cifras anuales son menores.

Así, para los supuestos de penetraciones progresivas de diferentes tipos de VEA, y en función de los diferentes escenarios, el sobrecoste de vehículos acumulado al año 2035, que es el año “horizonte” elegido en el estudio, estaría entre unos 500 y unos 2.300 M€; la inversión en infraestructuras, entre 80 y 180 M€; los ahorros en combustible, entre 770 y 1.900 M€; las reducciones en emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas al 2035, de 2 a 5 MtCO<sub>2eq</sub>; las de NO<sub>x</sub>, de 860 a 2.300 toneladas y, en partículas, de 100 a 200 toneladas.

También, y en lo que se refiere a la penetración progresiva de diferentes vehículos y distintas energías, los resultados indican que es preferible el escenario de los supuestos superior e híbrido, es decir, los que presentan una buena penetración de los vehículos eléctricos e híbridos<sup>4</sup>. Este escenario tiene un buen “orden de mérito” en ahorro de combustibles, eficiencia económica y medioambiental, y contribución a los objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En las penetraciones progresivas, el sobrecoste neto (sobrecoste en vehículos menos ahorro en combustibles) y las inversiones en infraestructuras, si bien suponen un importante volumen económico en términos totales o agregados, permitiría lograr una contribución del 44 al 95% a la reducción de emisiones de CO<sub>2eq</sub>, de 2,2 millones de toneladas en 2030 y de 4,4 millones de toneladas en 2050, respectivamente, que son los objetivos establecidos en la Estrategia Vasca de Cambio Climático, según la energía alternativa elegida y en términos del sistema energético a la rueda.

También se observa que, cuando aumenta la penetración del vehículo eléctrico de batería, la reducción de emisiones de GEI es superior; y cuando se valoran, con precios elevados las emisiones de contaminantes locales, el gas natural tiene ventajas debido al menor sobrecoste de los vehículos respecto a lo eléctrico. Por su parte, el híbrido convencional, que no es un VEA, tiene potencial de reducción de emisiones.

En cualquier caso, los diversos escenarios muestran que las distintas combinaciones siempre consiguen importantes beneficios medioambientales, lo que implica que ha lugar para la convivencia de distintas tecnologías. Según los escenarios se logran penetraciones diferentes de los VEA e híbridos convencionales, pero ello no se traduce en ningún caso en la consecución simultánea de todos los objetivos. Por tanto, la Administración debería plantearse cómo conciliar los diferentes objetivos e identificar a cuáles da prioridad.

A partir de las observaciones anteriores, se pueden inferir dos planteamientos para llevar a cabo el cambio. El primero apunta hacia una visión que trate de lograr cambios estructurales en profundidad y a largo plazo. El segundo se orienta a la introducción de mejoras progresivas o más graduales. En ambos enfoques, la evolución de los futuros precios de los vehículos eléctricos es clave.

Finalmente, conviene señalar que, además de los objetivos analizados en este estudio, uno que podría buscar la Administración podría ser promocionar la industria de la automoción y sus componentes. En este sentido, unas políticas energética, industrial y medioambiental coherentes deberían concentrar los esfuerzos de la Administración para que la sustitución de vehículos se orientase

---

<sup>4</sup> Este escenario también incluye GNC y los GLP.

hacia las energías de futuro, modificando así las actuales políticas de renovación de flota dentro del segmento de vehículos convencionales<sup>5</sup>.

### **Retos**

Debe subrayarse que los agentes que intervienen en la penetración de las energías alternativas en el transporte son diversos. Los consumidores, por un lado, con la compra y uso de los vehículos y, como se ha señalado, la Administración (municipios, Diputaciones y Gobierno). Además, los operadores energéticos, las empresas fabricantes de automóviles y otros agentes empresariales, que aquí no se han tratado, pueden facilitar la creación de nuevos modelos de negocio para la transformación energética en el transporte en la CAPV. La coordinación de todos ellos es fundamental para la consecución de objetivos.

La Administración puede jugar un claro papel mediante el desarrollo de incentivos a la compra de vehículos alternativos, así como en la promoción y en la facilitación de las infraestructuras de recarga y de suministro. También debe tenerse en cuenta, de forma realista, que las penetraciones serán progresivas y graduales y, por tanto, las inversiones necesarias tendrán un desarrollo paulatino y, si bien el esfuerzo inicial es relevante, conforme pase el tiempo, las cuantías se irán reduciendo.

Además, las cifras señaladas podrían ser asumibles por los presupuestos de la CAPV, aunque sean claramente superiores a algunas asignaciones presupuestarias conocidas<sup>6</sup>.

En este sentido, sería prudente asignar partida(s) presupuestaria(s) para promover infraestructuras, o facilitar incentivos que pueden incluir programas de actuación conjunta de distintos agentes. Los resultados de este estudio permiten evaluar los resultados de diferentes alternativas, con criterios de evaluación previamente definidos, lo que contribuye a facilitar el proceso de toma de decisiones.

Una vez identificado el problema y las posibles soluciones, el gran reto es afrontar la transformación del sector del transporte. Ello exige voluntad de cambio y poner en marcha políticas y recursos para avanzar en la penetración de los vehículos de energías alternativas. Para ello, debería actuarse simultáneamente sobre dos frentes o, dicho de otro modo, afrontar cuanto antes dos objetivos. El primero, la identificación e implantación de las medidas que permitan la transformación; y el segundo, la asignación de recursos presupuestarios.

No cabe duda que en el proceso de transformación energética en que estamos inmersos, el transporte va a ser uno de los sectores más importantes. En este sentido, puede decirse que, tras haber puesto el énfasis en otros sectores, el

---

<sup>5</sup> A modo de ejemplo, los planes PIVE, principalmente utilizados para vehículos tradicionales, ha supuesto unos 1.200 M€ desde el año 2012.

<sup>6</sup> Como son los 14 millones anuales de la Meta 2 de la Estrategia Vasca de Cambio Climático 2050. Si bien el presupuesto total para la CAPV en 2016 ascendía a 10.000 millones de euros, de éstos 611 millones correspondían a Infraestructuras Básicas y Transporte (Gobierno Vasco, 2017), es decir, un 6%. De estos 611 millones la gran mayoría está dirigida al sector ferroviario.

transporte será, probablemente, la “próxima frontera” y, por ello, es una necesidad y también una oportunidad de cambio para mejorar.

# ÍNDICE

## PRESENTACIÓN

### ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL TRANSPORTE: NECESIDAD, OPORTUNIDAD Y RETOS

<b>OBJETO Y ALCANCE.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN DEL ESTUDIO Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>3</b>

## I. TRANSPORTE DE PASAJEROS EN LA CAPV

<b>1. SITUACIÓN GENERAL.....</b>	<b>35</b>
1.1. Desplazamientos .....	35
1.2. Parque de vehículos y matriculaciones.....	37
1.3. Infraestructuras.....	39
1.4. Composición modal.....	42
<b>2. CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES.....</b>	<b>45</b>
2.1. Consumo energético .....	45
2.2. Emisiones .....	52

## II. ESTRATEGIAS, POLÍTICAS Y NORMATIVA EN LA CAPV EN EL MARCO DE LA POLÍTICA COMUNITARIA Y ESPAÑOLA

<b>3. ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS.....</b>	<b>59</b>
3.1. La Directiva 2014/94/UE y las políticas europeas .....	59
3.2. El Marco de Acción Nacional y las políticas del Gobierno de España.....	68
3.3. La Estrategia Energética 2030 y otras políticas en la CAPV.....	70

## III. INTRODUCCIÓN DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL TRANSPORTE. APLICACIÓN EN LA CAPV

<b>4. LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL TRANSPORTE.....</b>	<b>76</b>
4.1. Aspectos técnicos básicos .....	76
4.2. Aspectos económicos .....	86

4.3. Aspectos medioambientales .....	110
<b>5. APLICACIÓN A LA CAPV. CASOS, ESCENARIOS Y RESULTADOS .....</b>	<b>122</b>
5.1. Casos, supuestos e hipótesis .....	123
5.2. Sustituciones totales. Parques “monoenergéticos” .....	127
5.3. Sustituciones progresivas .....	145
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>164</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>181</b>
7.1. ANEXO 1: Siglas y acrónimos.....	181
7.2. ANEXO 2: Algunos temas relevantes tratados por la normativa española relativa al vehículo eléctrico.....	185
7.3. ANEXO 3: Financiación pública en la CAPV para vehículos con energías alternativas .....	187
7.4. ANEXO 4: El hidrógeno en el transporte.....	188
7.5. ANEXO 5: Supuestos e hipótesis para el cálculo de las emisiones STW....	194
7.6. ANEXO 6: Tablas de desplazamientos .....	198
7.7. ANEXO 7: Hipótesis y parámetros adicionales .....	201
7.8. ANEXO 8. Resultados adicionales de los casos estudiados.....	203
7.9. ANEXO 9: Vehículos de energías alternativas .....	208
<b>AUTORES .....</b>	<b>216</b>

## OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este estudio es examinar la aplicación de las energías alternativas al transporte privado de pasajeros por carretera en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV). Para ello se utilizan los datos de desplazamientos en las comarcas y se evalúan las implicaciones en términos de inversiones en infraestructuras, sobrecostes de vehículos, ahorros en combustible y disminución de emisiones, que supondrían las sustituciones del parque de turismos actual con energías convencionales (gasóleo y gasolina), por vehículos eléctricos, de gas natural comprimido o de gases licuados del petróleo así como híbridos convencionales e híbridos enchufables.

Es decir, a partir de diferentes supuestos se analizan y comparan las posibilidades de incorporación, total o progresiva, de las energías alternativas en el transporte. De esta manera se pueden evaluar las implicaciones de la introducción de las energías alternativas. Los resultados aportan información respecto a sobrecoste de vehículos, inversiones en infraestructuras, consumos de combustibles y reducción de emisiones, lo que permite tener una buena base para la toma de decisiones.

La estructura del estudio es como sigue. En los dos primeros capítulos se describe la situación actual y la evolución del transporte de pasajeros por carretera en la CAPV, así como de su consumo energético y emisiones, de manera que se disponga de una contextualización del sector que es objeto de análisis.

Así, en el primer capítulo se desagregan los desplazamientos, se identifica el parque de vehículos y las infraestructuras que conforman el sector. En el segundo capítulo se examina el consumo energético asociado al transporte de pasajeros por carretera y las emisiones que derivan de él, distinguiéndose los gases de efecto invernadero (en adelante, GEI) y los gases contaminantes (óxidos de nitrógeno,  $\text{NO}_x$  y partículas, PM).

Conocidas las circunstancias que conforman el transporte de pasajeros por carretera, en la segunda parte, el tercer capítulo se ocupa del ámbito regulatorio y de las políticas de transporte, tanto a nivel europeo, como estatal y de la CAPV. Es aquí donde se describen los documentos sobre los que se basan los análisis del estudio, entre ellos la Directiva 2014/94/UE relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos (conocida como DAFI).

En la tercera parte, partiendo de las energías alternativas que se proponen en la DAFI, en el capítulo 4 se analizan el vehículo eléctrico (puro e híbrido enchufable), el de gas natural comprimido y los de gases licuados del petróleo (en adelante, BEV, PHEV, GNC y GLP respectivamente). En este capítulo 4, se examinan con detalle los aspectos económicos, utilizando varios criterios, como son el precio de los combustibles, sobrecostes de vehículos alternativos e inversiones en infraestructuras. En los aspectos medioambientales, se lleva a cabo un examen

detallado de las emisiones, tanto de gases de efecto invernadero (GEI), como de contaminantes ( $\text{NO}_x$  y partículas), cuantificándolos tanto del pozo a la rueda (TTW), como del sistema energético a la rueda (STW) y del tanque a la rueda (TTW).

En el capítulo 5 se presentan los resultados del estudio. En este capítulo, las energías alternativas en el transporte se examinan bajo dos enfoques distintos. Por un lado, desde una sustitución total de las energías convencionales por las energías alternativas dando lugar a parques “monoenergéticos” (sólo BEV, GNC, etcétera), hipótesis que si bien no es realista, permite tener unas cuantificaciones “macroeconómicas” en términos de sobrecostos de vehículos, infraestructuras, ahorro de combustibles o disminución de emisiones. Asimismo se evalúan varios escenarios de penetración progresiva del vehículo eléctrico, del de GNC y del de GLP, bajo diferentes supuestos e hipótesis que se especifican en dicho capítulo.

En el capítulo resumen del estudio y conclusiones, se recogen los principales temas y puntos del estudio y se reflejan también las conclusiones. Además, en el apartado preliminar, se identifican las energías alternativas como necesidad, oportunidad y reto, aportando también algunas sugerencias.



## RESUMEN DEL ESTUDIO Y CONCLUSIONES

En este estudio, tras examinar la situación general en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV), se ha pasado revista a los datos de consumo energético y de emisiones del transporte de pasajeros por carretera.

Dada la relevancia que para la penetración de los vehículos de energías alternativas (VEA) tienen las políticas europeas, se resumen aquí las más relevantes a efectos del estudio. Naturalmente también se identifican las referentes a España y a la CAPV. Dado que el objetivo de este estudio es el análisis del País Vasco, se detallan las políticas que afectan al transporte desde la óptica de la energía y el medio ambiente.

Para situar las energías alternativas en el transporte privado de pasajeros se atiende, en primer lugar, a los aspectos que se denominan técnicos básicos, tanto de vehículos, como de energía y de infraestructuras.

En los aspectos económicos se identifican los principales supuestos utilizados en el estudio, tanto de consumo de combustible y de número de vehículos, como puntos de recarga o suministro. En lo que se refiere los aspectos medioambientales se examinan las emisiones tanto de gases de efecto invernadero (GEI) como de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas (PM), incluyendo aquí, para todos los casos, las del tanque a la rueda (TTW), del sistema energético a la rueda (STW) y del pozo a la rueda (WTW).

Una parte importante de este estudio es la dedicada a la CAPV, donde se han identificado y resumido los casos estudiados, los escenarios utilizados y los resultados obtenidos, tanto para sustituciones totales como para la penetración progresiva con diferentes tipos de vehículos, incluyendo análisis básicos de sensibilidad.

Los resultados son fundamentalmente de dos tipos: los que, según parámetros multicriterio identifican las mejores alternativas de vehículos según objetivos, y los que se refieren a los esfuerzos necesarios en términos de inversiones en infraestructuras o sobrecostes de vehículos, con las correspondientes reducciones de emisiones y ahorro económico de combustible.

### **Situación general**

La CAPV tiene un parque de vehículos de 1,3 millones, de los cuales 950.000 son turismos. La mayoría de este parque se encuentra en Bizkaia y Gipuzkoa, sumando casi 800.000. El número de turismos por mil habitantes en la CAPV asciende a 434, valor que es algo inferior al promedio de España y moderado en el entorno europeo. De los aproximadamente 37.000 vehículos matriculados en el año 2014, que incluyen turismos y todoterrenos, un 70% fueron vehículos diésel, y las cifras de híbridos y eléctricos no fueron significativas.

La CAPV cuenta con una buena red de carreteras, a juzgar por la densidad de autopistas de peaje y carreteras, superior a España y a la media de la UE-28 en autopistas, aunque no en carreteras principales.

En la composición modal, en la CAPV, el transporte colectivo supone el 15% del total de desplazamientos, la mitad en autobús, de los que el 53,2% son intramunicipales. La mayor parte de estos tiene lugar en las capitales vascas, siendo del mismo orden en Bilbao y Donostia (25 y 21% respectivamente), y por debajo en Vitoria (12%). El resto de los desplazamientos colectivos (44%) se atribuyen casi en su totalidad al ferrocarril<sup>7</sup>.

En la CAPV, según los últimos datos disponibles, se producen más de seis millones de desplazamientos<sup>8</sup> diarios. Si se consideran las comarcas y rutas que cubren prácticamente tres cuartas partes de los desplazamientos totales, dichos desplazamientos equivalen a 12 mil millones de pasajeros-kilómetro al año. La información disponible, y su nivel de desagregación, suponen una muy buena base de partida para analizar la incorporación de energías alternativas en el transporte de pasajeros en la CAPV.

### **Consumo energético y emisiones**

El consumo de energía en el transporte es muy relevante, al igual que lo son las emisiones, sean estas de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, metano y otros, calculados o estimados en términos de CO<sub>2eq</sub>) o de contaminantes, como los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y las partículas (PM).

El transporte supuso en el año 2014 más de un tercio del consumo de energía final de la CAPV (37% y 1,9 millones de toneladas equivalentes de petróleo [Mtep]). El 96% del consumo de energía en el transporte es de productos derivados del petróleo, con un fuerte peso en el gasóleo A de automoción, que representa un 77% del consumo total, mientras que las gasolinas suponen un 9% y el de gases licuados del petróleo (GLP<sup>9</sup>) un 2%.

En el transporte, Bizkaia y Gipuzkoa con un 37% cada una, tienen consumos similares, mientras que Álava, con un 26%, tiene un consumo inferior. El consumo de combustible por carretera y habitante, presenta diferencias notables entre los territorios, con valores estabilizados desde el año 2009 en unos 0,8 tep/hab para la CAPV. Bizkaia, con 0,5 tep/hab, tiene el menor consumo por habitante, mientras que Álava y Gipuzkoa presentan consumos muy superiores a lo que no es ajeno el efecto frontera.

Las emisiones de GEI del sistema energético suponen del orden de un tercio de las emisiones de GEI de la CAPV, que en su conjunto fueron de 16,9 millones de

<sup>7</sup> Se entiende por ferrocarril el conjunto formado por Euskotren, Renfe, FEVE, tranvías y metro de Bilbao.

<sup>8</sup> Desplazamientos de índole general, tanto motorizados como no y tanto por medio público como privado.

<sup>9</sup> Se utiliza en general la expresión GLP dado que responde a la especificación EN590

toneladas en el año 2014, siendo el transporte el segundo emisor tras el sector energético. Hay que hacer notar que tanto el sector energético como la industria han reducido sus emisiones de GEI en un 40% desde el año 2000, mientras que el transporte ha aumentado las emisiones en un 20%.

Las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte, tras experimentar crecimientos en la década de 2000 hasta el año 2007, superando los seis millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub>, se han reducido desde entonces, hasta cerca de 5,4 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> en los últimos años.

Por otra parte, en lo que respecta a las emisiones contaminantes del sector transporte en la CAPV, la emisión de óxidos de azufre se ha reducido de manera continuada e importante desde los años noventa hasta ser prácticamente nulas. Las emisiones de partículas, que habían aumentado de forma paralela al desarrollo del transporte hasta 2007, han disminuido a razón de un 2,5% anual desde entonces.

Sin embargo, las emisiones de óxidos de nitrógeno, se han incrementado desde 1990 hasta el año 2005 y sólo se han reducido, consonancia con las partículas, a partir de ese año. En un periodo de casi 25 años hasta el 2013, han disminuido un 10%, en gran parte debido a las mejoras y especificaciones de emisión de los motores de automóvil.

La importancia del transporte en cuanto a las emisiones contaminantes radica en que éstas se producen a nivel del suelo y en zonas en las que la población está expuesta, de ahí la obligatoriedad de instalación de catalizadores en los vehículos y la entrada en vigor de las normas Euro 4, Euro 5 y Euro 6.

En términos generales hay dos grandes enfoques para reducir la contaminación. El primero estaría relacionado con la movilidad eficiente<sup>10</sup>, y el segundo orientado a actuaciones regulatorias para reducir las emisiones totales de los vehículos, como la limitación de las emisiones de los vehículos y la utilización de energías alternativas a los combustibles convencionales (gasóleo o gasolina), como la electricidad, el gas natural comprimido, los gases licuados del petróleo, el biogás y el hidrógeno<sup>11</sup>.

### **Estrategias y políticas**

En Europa, España y la CAPV, la energía, el transporte y el medio ambiente han sido objeto de estrategias, políticas y normativas. Para este estudio ha sido importante el análisis de la Directiva 2014/94/UE, sobre el desarrollo de combustibles alternativos, en adelante referida como DAFI<sup>12</sup>, y las obligaciones resultantes de la

---

<sup>10</sup> Véase al respecto el documento “La movilidad sostenible. El papel de la electricidad y el gas natural en varios países europeos” de Álvarez Pelegrín, E.; Menéndez, J.; Bravo, M. (2017).

<sup>11</sup> En este estudio por las razones de detalle señaladas en el mismo, se examina la sustitución de los vehículos convencionales (gasolina y gasóleo) por vehículos eléctricos, de GNC y de GLP. El análisis del hidrógeno y sus posibilidades en el transporte de pasajeros por carretera se pueden ver en el anexo 4. Se consideran también los porcentajes de sustitución de los convencionales por biocombustibles.

<sup>12</sup> Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure.

misma “traducidas” al Marco de Acción Nacional de Fomento de Combustibles Alternativos así como el examen de las estrategias y políticas de la CAPV referentes a transporte y medio ambiente, en especial la Estrategia Energética de la CAPV a 2030 (3E-2030).

### *Unión Europea*

En la Unión Europea es muy clara la preocupación medioambiental, traducida en legislación desde los años noventa, siendo particularmente activa desde el comienzo de la década de 2000 en cuanto a la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y de gases de efecto invernadero. Así, aunque de forma no exhaustiva, se deben citar los reglamentos que regulan las emisiones de escape de los vehículos ligeros y pesados Euro 6 y Euro VI (con modificaciones posteriores en 2008 y 2016). Más concretamente, en el año 2008, se aprobó la Directiva sobre calidad del aire y una atmósfera más limpia para Europa. En el 2009, se publicaron varias directivas, relativas al fomento del uso de energías de fuentes renovables, la promoción de vehículos limpios y eficientes, y el reglamento sobre vehículos nuevos para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Al mismo tiempo, se establecieron mediante reglamentos y directivas, orientaciones para el fomento de una red europea de transporte y para la implantación de una red de infraestructuras de combustibles alternativos.

La Comisión Europea ha concretado también su preocupación por el transporte, las emisiones y el medio ambiente en documentos no legislativos como el Libro Blanco para un espacio único de transporte, la Hoja de Ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050, el Plan de Acción para una industria del automóvil competitiva y sostenible en Europa y la Estrategia Europea en materia de combustibles alternativos<sup>13</sup>.

Es importante señalar que todos estos documentos se han desarrollado en un periodo de preocupación por los problemas del transporte y donde se reconoce además, que se producirá un incremento de la actividad del transporte de mercancías y de pasajeros (este último objeto de este estudio). Con todo ello se pretende y se espera, que las necesidades energéticas del transporte no sigan la senda de crecimiento de la actividad del mismo.

### *España*

Como se acaba de señalar, es muy relevante la Directiva DAFI para el desarrollo de combustibles alternativos, que requería a los Estados Miembros de la Unión Europea, que a finales del año 2016 dispusieran de un plan de acción para el despliegue de infraestructuras para los combustibles alternativos. Como

---

<sup>13</sup> Destaca el examen de escenarios o tendencias en 2050 en energía, transporte y gases de efecto invernadero. También hay que incluir, coherentemente con las preocupaciones sobre energía en el transporte y el medio ambiente, la Estrategia Marco para una Unión de la Energía Resiliente con una Política Climática Prospectiva o el Estado de la Unión de la Energía de 2015. Ver capítulo 3.

consecuencia de ello se elaboró en el año 2015 la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (VEA) 2014-2020, y en el año 2016 el Marco de Acción Nacional de Fomento de Combustibles Alternativos. Mediante el Real Decreto 639/2016 se establecieron directrices, estrategias y objetivos que son referentes obligados a la hora de examinar la penetración de diferentes tipos de vehículos: eléctrico, de gas natural comprimido, de GLP y de otras energías alternativas.

Si bien el Real Decreto citado es clave como marco para este estudio, resulta necesario señalar que ya en 2010 la normativa abordó la sustitución de las energías convencionales en el transporte. Dicho año, mediante Real Decreto Ley, se incorporó la figura del gestor de carga del sistema para la realización de servicios de recarga energética y mediante el RD 647/2011 se reguló esta figura y se creó el peaje de acceso supervalle.

Además, la Directiva sobre promoción de vehículos limpios y eficientes se traspuso en la Ley de Economía Sostenible y la Directiva de calidad del aire del año 2008 en el Real Decreto 102/2011. Por su parte el Plan Nacional de Mejora de Calidad del Aire trata de reducir la densidad de vehículos en las ciudades, y desde 2015, mediante Real Decreto, se fomenta el uso de biocombustibles y se establecen los objetivos para 2020 de consumo de los mismos.

### *CAPV*

La preocupación en la CAPV por el transporte, la energía y el medioambiente no ha sido menor y se ha traducido en las estrategias energéticas, en los planes de transporte y en las políticas medioambientales. Así, en la reciente Estrategia Energética de la CAPV a 2030 (3E-2030), se establece como línea de actuación la reducción de la dependencia de los derivados del petróleo, en el sector transporte en un 10% en 2025 respecto a 2015, planteándose entre otras medidas el impulso a los vehículos más eficientes y de energías alternativas con porcentajes de penetración del VEA del 4% en 2015, 10% en 2025 y 25% en 2030.

Los objetivos cuantitativos para el año 2030 suponen no incrementar el consumo energético en el transporte por carretera, que se situaría en 1,7 Mtep en ese año, así como disminuir el consumo de derivados del petróleo para que estos supongan 1,2 Mtep respecto a los 1,7 Mtep del año 2014. Esto implica incrementar el consumo de otras energías para que alcancen medio millón de toneladas equivalentes de petróleo en 2030, lo que supondría un fortísimo incremento respecto al año 2014, en el que fueron de 65.000 tep.

A largo plazo, en el año 2050, la estrategia apunta a un consumo nulo de petróleo para usos energéticos, lo que requiere un fuerte cambio estructural en el sistema de transporte actual.

No sólo las energías alternativas en el transporte están contempladas en la estrategia energética. El Plan Director de Transporte Sostenible 2002-2012 apuntaba a la promoción del transporte público y a la intermodalidad, y el Plan

Director que se encuentra en elaboración en 2016 pone el énfasis en la eficiencia y las nuevas tecnologías. En el año 2010 se estableció una estrategia para la introducción del vehículo eléctrico en la CAPV mediante la creación de una red de puntos de recarga en la CAPV y el apoyo al sector industrial vasco en el campo de la automoción.

No menos importante es la Estrategia Vasca de Cambio Climático 2050 (Klima 2050) del año 2015, que pretende alcanzar en el 2030 una reducción de emisiones totales de gases de efecto invernadero de al menos un 40%, y de un 80% en el año 2050, en ambos casos respecto a 2005.

Esta estrategia de Cambio Climático va acompañada de la identificación de nueve metas y veinticuatro líneas de actuación, siendo la Meta 2 “Caminar hacia un Transporte sin Emisiones”, la que potencia la intermodalidad y los modos de transporte con menos emisiones de GEI, la sustitución de los derivados del petróleo y la adaptación de las infraestructuras de transporte. Dicha meta incluye también presupuestos específicos, del orden de 14 millones de euros anuales desde el año 2016 hasta 2020.

En cuanto a las emisiones contaminantes, si bien se promueve la reducción de las mismas mediante las renovables, parece echarse en falta unos objetivos generales y otros más específicos para el sector transporte.

Por otro lado, se encuentran los incentivos económicos para la adquisición de vehículos de energías alternativas, incentivos que tienen carácter anual, dentro del programa de ayudas a inversiones en el transporte y la movilidad eficiente. Dicho programa contemplaba en su versión de 2016 diferentes medidas desde la adquisición de vehículos, las infraestructuras de recarga y la gestión de flotas de transporte, hasta la promoción de la bicicleta.

En definitiva, tanto para la Comisión Europea, como para el Gobierno de España y para la CAPV, la energía, el transporte y el medio ambiente son objetivo de estrategias políticas, normativas, medidas y actuaciones, apuntando todas a una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes, y a la disminución del uso de productos petrolíferos en el transporte. Al mismo tiempo se favorece la incorporación de los vehículos de energías alternativas como la electricidad, el gas natural comprimido, los gases licuados del petróleo y otros, así como la correspondiente promoción y desarrollo de las infraestructuras de recarga y repostaje.

En el marco de estas estrategias y políticas, este estudio ha examinado las energías alternativas en el transporte privado de pasajeros, llevando a cabo análisis técnicos, económicos y ambientales. Como se podrá apreciar, se examinan sistemáticamente las emisiones de GEI y contaminantes, abordando la aplicación a la CAPV en diferentes casos y escenarios, obteniendo resultados y conclusiones.

## Las energías alternativas en el transporte

Para analizar el desarrollo de las energías alternativas en el transporte, se requiere conocer tanto la tecnología actual de los binomios vehículo/energía, así como sus desarrollos futuros. Asimismo es clave examinar los precios de los vehículos y de las energías. Finalmente, no es menos importante el desarrollo de las infraestructuras de suministro necesarias. En lo que sigue se revisarán cada uno de los distintos vehículos o energías analizados en este estudio, presentándose a continuación los principales aspectos técnicos, económicos y medioambientales relativos a los vehículos de energías alternativas (VEA).

### *Aspectos técnicos*

Como se ha comentado, existen distintas modalidades de VEA, una de cuyas principales diferencias es la fuente energética que los propulsa. En el ámbito del vehículo eléctrico, hay que distinguir fundamentalmente entre los eléctricos de batería (BEV), los híbridos enchufables (PHEV)<sup>14</sup> y los vehículos eléctricos de autonomía extendida (REEV). A efectos de este trabajo, se consideran los dos primeros. Las posibilidades técnico-económicas que tiene el híbrido convencional llevan a considerarlo también en este estudio.

La electrificación del transporte de pasajeros por carretera requiere de la disponibilidad de vehículos eléctricos, por lo que el incremento de la densidad energética de las baterías para aumentar la autonomía es un aspecto clave, al igual que asegurar un gran número de ciclos de carga/descarga de las mismas. Otro aspecto importante es el de las infraestructuras de recarga necesarias, que se tratará más adelante.

En el año 2015 se superó la cifra simbólica de un millón de vehículos eléctricos (1,26 millones) a nivel mundial. En la actualidad en España hay más de 18.000 vehículos eléctricos, de los cuales el 37% son turismos y, de estos, la mayoría, el 87%, BEV, teniendo porcentajes mucho menores, 11% el PHEV y un 2% el REEV. En la CAPV, el número de estos vehículos estaba en 2014 en torno a 400 unidades, con una previsión para 2020 de 40.000 unidades o el 10% de las ventas, objetivo este contemplado en la Estrategia 3E-2030.

La estrategia vasca de introducción del vehículo eléctrico, ha dado lugar a iniciativas como la compañía IBIL<sup>15</sup>, o el establecimiento de un acuerdo entre el Departamento de Industria y Mercedes Benz España, que lleva a la producción del Vito E-Cell, producción que parece encontrarse paralizada, a la espera de que crezca la demanda. El fabricante de autobuses Irizar cuenta con ventas para varias ciudades europeas, entre ellas Bilbao, Donostia y Barcelona.

---

<sup>14</sup> Para más detalle de los tipos y la identificación de las diferencias básicas, véase el capítulo 4, apartado 4.1, y el anexo 9.

<sup>15</sup> IBIL ha extendido además su actividad como gestor de carga a otras regiones.

En la CAPV existe una importante industria de componentes para automóviles, con un volumen de facturación de más de 15.000 M€, 300 empresas fabricantes y 260 plantas a nivel global. El sector, cubre el 50% de los componentes empleados en España y supone del orden del 22% del PIB vasco e invierte en I+D un elevado porcentaje de su cifra de negocio. La exportación de componentes es de vehículos convencionales por lo que la industria vasca en este sector depende en gran parte de las estrategias de los fabricantes de vehículos y de lo que sucede a nivel mundial.

En este entorno, las estrategias de fabricantes de vehículos y las políticas de las administraciones, fundamentalmente a partir de 2018-2019, son elementos relevantes a considerar para la penetración real de los vehículos eléctricos en el transporte<sup>16</sup>.

Los gases licuados del petróleo (GLP), considerados según la DAFI como una energía alternativa, han tenido un crecimiento progresivo que tiene en cuenta sus características técnicas, económicas y ambientales. Su penetración ha sido la más elevada entre las energías alternativas, de manera que es posible que su mercado se establezca antes que el resto.

En lo referente a los GLP en España, al no existir una producción significativa de vehículos, su desarrollo ha dependido en gran medida de las transformaciones postventa. En 2016 la Dirección General de Tráfico (DGT), contabiliza 8.000 vehículos que utilizan este combustible, cifra que se eleva a más de 50.000 cuando se incorporan los transformados postventa. En cuanto a las infraestructuras de repostaje, habitualmente existen puntos de suministro en algunas de las más de 10.900 estaciones de servicio convencionales.

El gas natural, hidrocarburo y energía fósil, está considerado como una energía alternativa en el transporte, existiendo diferencias en la forma de almacenamiento del gas natural entre los vehículos de gas natural comprimido (GNC) y de gas natural licuado (GNL). En el primero, la presión de almacenamiento en los tanques de los vehículos es del orden de 200/250 bares, instalados estos en la parte trasera, en el techo o en el chasis del vehículo. En el GNL las condiciones necesarias son entre 6 y 10 bares, con temperaturas de -160°C, lo que implica la vaporización para su uso en el motor, y por tanto, menores dimensiones y peso del depósito, si bien el material requerido encarece el coste en vehículos pequeños. Por ello, el GNL se utiliza, fundamentalmente, en vehículos con grandes tanques de combustible como los camiones.

El gas natural se utiliza en los vehículos de ciclo Otto de gasolina, que generalmente operan indistintamente con ambos combustibles (vehículos bifuel), inicialmente

---

<sup>16</sup> Dadas las dimensiones del mercado de China (30% de las ventas globales anuales), lo que ocurra en este mercado será muy relevante. Además el país cuenta con un fabricante de vehículos eléctricos que integra el 100% de la batería de producción propia en su cadena de valor, por lo que China es un país de obligada referencia para la evolución de las energías alternativas. En cualquier caso, los mercados de Estados Unidos, Unión Europea y Japón tendrán también una gran influencia dadas sus características.



vehículos de gasolina, que fueron modificados en talleres especializados. Actualmente existen en el mercado vehículos originales de los fabricantes, exclusivamente a gas natural (monofuel), aunque la mayoría es bifuel, equipados con depósitos para ambos combustibles.

Recientemente se han desarrollado motores de ciclo diésel, con ignición por compresión para vehículos pesados, en los que se introduce un porcentaje variable de diésel en la cámara de combustión para que se produzca la ignición, mientras que el gas natural entra con el aire de admisión directa (dualfuel). Existen también los trifuel que combinan de manera flexible gasolina, etanol y gas natural.

En España, según la DGT, la flota de vehículos a gas natural, en junio del 2016, era de 4.366 unidades (95% de GNC y 5% de GNL). Al igual que ocurre con los GLP, las transformaciones en talleres no siempre se contabilizan. Si se incluyeran, el total de vehículos rondaría los 5.056 vehículos, a diciembre de 2015 según GASNAM (Gobierno de España, 2016).

El uso del gas natural en el transporte tiene halagüeñas perspectivas en aplicaciones del GNL en buques y en trenes de pasajeros. En el primer caso, como consecuencia de los requerimientos de utilización de combustibles de 0,1% máximo de azufre en las áreas SECA (*Sulfur Emission Control Area*) de la Organización Marítima Internacional (OMI). También la UE requiere la utilización, en sus aguas territoriales y en los puertos, de combustibles marinos de 0,1% de azufre<sup>17</sup>.

En el caso de los turismos no es fácil ver una fuerte penetración del gas natural, en parte debido a las razones técnicas señaladas en este estudio<sup>18</sup>. Las previsiones del gas natural comprimido en turismos no significan que el gas no pueda tener, como se ha señalado, un papel significativo en otros segmentos del transporte en el futuro.

Un aspecto técnico muy importante, no ligado estrictamente al vehículo, que ya se ha citado, son las infraestructuras de recarga, bien sean vinculadas, es decir, las de los edificios residenciales o en vías públicas, sean estas de carga rápida o convencional. Para el vehículo eléctrico, en la CAPV existen 77 puntos de recarga convencional y cuatro de recarga rápida.

Es importante señalar el proyecto CIRVE (Corredores Ibéricos de Recarga de Vehículos Eléctricos), que identifica el corredor atlántico y el mediterráneo, en los que se deberían instalar puntos de recarga para cumplir con las exigencias de la Directiva DAFI. Por otra parte y en el marco de la estrategia de impulso de las energías alternativas, la Red Transeuropea de Transporte o RTE-T (TEN-T por sus

---

<sup>17</sup> Según la Agencia Internacional de la Energía, si en base a los requerimientos de la OMI para la desulfuración, la legislación de los combustibles se vuelve más estricta en relación con el NO<sub>x</sub> y con las partículas como en el transporte terrestre, sería necesaria la instalación de depuradores o lavadores de gases. Sin embargo, por distintas circunstancias, estos pueden no resultar prácticos o económicamente viables, de manera que el GNL supone la principal alternativa (AIE, 2016c). Además, no resulta posible realizar una reducción catalítica de NO<sub>x</sub> si se utiliza fueloil como combustible.

<sup>18</sup> Ver los detalles en los capítulos 4 y 5.

siglas en inglés), establece que deberían existir puntos de recarga con una distancia de 100 kilómetros entre los mismos.

En España se pretende tener en el año 2020 un total de 1.190 puntos de recarga eléctrica en los entornos urbanos y 300 en carreteras, así como la instalación adicional de un punto de recarga por cada 40 plazas para nuevos edificios residenciales y nuevos aparcamientos públicos. También se pretende desarrollar las cargas vinculadas.

En junio de 2015 había en España 42 estaciones de servicio de abiertas al público y 65 estaciones privadas, siendo 25 de estas últimas de GNC y el resto de GNL.

Según la Directiva DAFI, es necesario que los países de la Unión Europea ubiquen estaciones de servicio de GNC para el año 2020, en número suficiente en las aglomeraciones urbanas y en la red TEN-T cada 150 kilómetros, siendo esta distancia orientativa. En el caso del GNL<sup>19</sup> la distancia entre estaciones de servicio en la DAFI sería de 400km.

Para cumplir con la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas en España (2014-2020) se estima que en 2020 se tendrán que instalar 119 puntos de suministro de GNC en el ámbito urbano, dando prioridad a las ciudades con más de 100.000 habitantes. Asimismo, y considerando la Red de Carreteras del Estado y de las Comunidades Autónomas, y siguiendo la indicación de los 150 kilómetros de separación mínima entre estaciones, antes del año 2025 debería procederse a la instalación de 199 puntos de suministro de GNC en carreteras. El total de puntos de suministro de GNC asciende, por tanto, a 318.

Los biocombustibles<sup>20</sup>, por su parte, tuvieron un desarrollo inicial importante, tanto en líquidos como en biogás. Este desarrollo inicial se produjo durante los años setenta durante la primera crisis del petróleo en Brasil y Estados Unidos. Resurgieron en los noventa por la prohibición del metil-ter-butil-eter como elemento para mejorar el índice de octano en gasolinas y su sustitución por etanol en Estados Unidos. La UE promueve el uso de biocombustibles en el transporte con el objetivo de impulsar la seguridad de suministro y el desarrollo rural así como para facilitar el cumplimiento de reducción de emisiones del Protocolo de Kioto.

Los biocombustibles se han desarrollado con el objetivo de sustituir, al menos parcialmente, los combustibles procedentes del petróleo y, por tanto, están orientados reemplazar las gasolinas (el etanol) y al diésel (el biodiesel).

La ventaja de los biocombustibles es que pueden mezclarse con los combustibles convencionales, y que, en general, no requieren un sistema específico de distribución. Sin embargo, su contenido energético es inferior (60% en el caso del

---

<sup>19</sup> Aunque no es objeto de este estudio, cabe mencionar que el proyecto Blue Corridors, para impulsar el GNL en el transporte de mercancías, considera el paso por la CAPV.

<sup>20</sup> El etanol y biodiesel son los combustibles principales, obtenidos inicialmente a partir de semillas vegetales, de manera que competían con el mercado alimentario. Posteriormente se desarrolló su elaboración a partir de residuos mediante nuevos procesos.

etanol respecto a la gasolina y 85% del biodiesel respecto al diésel), por lo que su consumo acarrea pérdidas de eficiencia y posibles pérdidas en la operatividad de los vehículos. La Directiva 98/70/CE sobre calidad de combustibles para transporte, modificada por la Directiva 2009/30/CE, limita el contenido en etanol en un 10% y en biodiesel en un 7% en los combustibles europeos, ya que los vehículos no están preparados para porcentajes superiores.

Debido a que la distribución de los biocombustibles se lleva a cabo en los puntos de suministro de los derivados del petróleo, a efectos del estudio, no se consideran ni sobrecostes de vehículos ni inversiones en infraestructuras<sup>21</sup>.

Como se trata de productos que se mezclan con los derivados del petróleo, los escenarios de este estudio, si bien los consideran, incluyendo su progresiva incorporación en los convencionales para alcanzar un 10% a partir de 2020, no se contemplan como una alternativa energética diferenciada.

#### *Aspectos económicos*

Un tema importante para la penetración de energías alternativas, como ya se ha indicado, son los costes de las infraestructuras de recarga para los vehículos eléctricos y de suministro para los de GNC. Para los biocombustibles, al existir una infraestructura de suministro ya existente, no se han considerado inversiones en infraestructuras adicionales a las ya existentes. Únicamente para los GLP se han considerado algunas inversiones en infraestructuras de forma coherente con los escenarios que se detallan en el estudio.

Los costes para la recarga eléctrica en vías públicas se han valorado en una horquilla de 7.500 € a 10.000 € para la recarga convencional y de 35.000 a 50.000 euros para la recarga rápida. Ya que las recargas vinculadas suponen la mayoría de puntos de recarga, con potencias de 3,7 a 7,4 kW, se ha supuesto un coste entre 2.200 y 2.400 euros por vehículo, correspondiendo 1.400 € a la terminal y el resto a la instalación.

En cuanto a los costes que se han establecido para las estaciones de suministro de gas natural, dependen de la capacidad y del tipo de suministro, lento o rápido. Existe aquí una muy amplia horquilla que varía con la capacidad de carga diaria, que puede ir desde un valor mínimo de 5.000 € a 700.000 €, referencias que vienen más bien del ámbito anglosajón<sup>22</sup>. Por otra parte, los costes difieren en función de que sean estaciones de servicio abiertas al público, o privadas (que atienden a flotas), o en domicilios. Teniendo en cuenta una filosofía de infraestructuras de recarga en vías públicas o de atención al público, en línea con el desarrollo de infraestructuras de corredores de transporte, se ha considerado un precio de 500.000 euros por

---

<sup>21</sup> Los biocombustibles son más caros que los derivados del petróleo, si bien el etanol producido en Brasil a partir de caña de azúcar tiene un precio más parecido a la gasolina. En cualquier caso, el incremento porcentual de coste de los convencionales por la incorporación de biocombustibles no se ha considerado en los escenarios. Ver capítulo 4.

<sup>22</sup> No considerando aquí, lógicamente, los acuerdos comerciales que en la práctica pueden hacer variar significativamente el coste de la inversión.

estación de carga, si bien hay varias referencias que apuntan más a precios en el entorno de los 300.000 euros<sup>23</sup>.

En los aspectos económicos es también muy importante considerar los precios de los vehículos y los del combustible. En cuanto a los primeros, se han considerado para los convencionales precios de 14.000 a 16.000 € correspondientes a modelos de 109 a 116 CV. En los eléctricos, 34.000€ para un vehículo eléctrico de batería de 110CV; y en los de GNC, 25.000<sup>24</sup>, considerando una potencia de 106-120 CV, datos que, en general, están recabados de precios del mercado. También se ha considerado un precio de 26.000 € para el híbrido convencional.

Un aspecto relevante en el precio de los vehículos eléctricos es el de las baterías como componente clave de los mismos y la evolución de los costes de estas a futuro. A este respecto, se han considerado diferentes precios de baterías, encontrando rangos muy amplios y que lógicamente varían según el horizonte temporal. Así, en 2020 el rango sería de 250-450 \$/kWh y en el año 2030, donde habría disminución de precios, se situarían en el rango de 150-250<sup>25</sup>.

Según estas estimaciones, y teniendo en cuenta los costes de operación y mantenimiento, se ha calculado el coste total de utilización para el propietario (TCO o *total cost of ownership* en inglés). Ello lleva a unos TCO en €/km de los vehículos eléctricos que prácticamente se igualan con los de otras alternativas en el entorno del año 2025, con unos valores de 0,18 €/km (18 €/100km).

En lo que respecta a los consumos específicos, a los precios de los combustibles convencionales y a las energías alternativas, en los gasóleos y gasolinas, se ha supuesto un precio de 1,13 €/l para el gasóleo y 1,24 €/l para la gasolina que, en comparación con valores históricos, suponen un rango de entre 22% y 38%, por lo que este parámetro es objeto de análisis de sensibilidad. Para el vehículo eléctrico se consideran las tarifas públicas para la recarga según diferentes periodos (punta, valle y supervalle) y para el GNC se ha considerado un precio de 0,9 €/kg<sup>26</sup>.

El conjunto de los principales supuestos económicos en cuanto a combustibles, vehículos y puntos de recarga, se recogen en la tabla siguiente. Se llama la atención que respecto a los parámetros que más pueden afectar a los resultados, se ha procedido a realizar análisis básicos de sensibilidad.

<sup>23</sup> Siendo obvia la importancia de los costes de infraestructura, los análisis de sensibilidad mostrarán más adelante la influencia que variaciones en estos costes tienen sobre los resultados, que como se verá, no modifican en este caso las conclusiones fundamentales.

<sup>24</sup> Según fuentes del sector, un vehículo de 3.500 kg de peso máximo autorizado (PMA), puede tener un coste de compra de 28.000€ + IVA, mientras que un *renting* a 5 años supondría una cuota de 1.254,87 Euros sin incluir IVA. Para un vehículo de 5.000 de PMA, la compra rondaría los 29.000 € sin incluir IVA.

<sup>25</sup> Para más detalle ver capítulo 4.

<sup>26</sup> A partir de datos muestrales de estaciones de venta al público de gas natural vehicular, con datos mensuales, para el periodo de junio 2014 a marzo 2017, los precios mínimos y máximos fueron de 0,6562 €/kg y 0,862 €/kg, respectivamente. Lo que supone una hipótesis un 27% superior al mínimo y un 4% respecto al máximo.

**TABLA 1. Resumen de los principales supuestos relativos a los aspectos económicos**

Tipo de vehículo	Combustible		Vehículo	Punto de recarga o suministro (k€)
	Consumo (por cada 100 km)	Precio	Precio (k€)	
<b>Gasolina (2010)</b>	8,3 l	1,24 €/l	14	n.a.
<b>Gasóleo (2010)</b>	5,9 l	1,13 €/l	16	n.a.
<b>BEV (vehículo eléctrico de batería) (2013-2015)</b>	18 kWh	Carga convencional: 0,1261 €/kWh Carga rápida: 0,50 €/kWh	34	Carga convencional: 2,4 Carga rápida: 50
<b>PHEV (híbrido enchufable) (2020+)</b>	2,9 l 4,7 kWh	1,24 €/l Carga convencional: 0,1261 €/kWh Carga rápida: 0,50 €/kWh	42	26% de la carga convencional del BEV
<b>GNC (gas natural comprimido) (2020+)</b>	4 kg	0,9 €/kg	25	500
<b>GLP (gases licuados del petróleo) (2020+)</b>	7,8 l	0,62 €/l	18	100
<b>Hyb (híbrido) (2020+)</b>	4 l	1,24 €/l	26	n.a.

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: Respecto al consumo del vehículo eléctrico (18 kWh/100km), este es un consumo que se asume en condiciones de conducción real; en función de la literatura, este puede variar entre 15 y 20 kWh/100km. La tarifa para la carga convencional se ha calculado mediante el comparador de tarifas de energía de la CNMC para una potencia de 3,7 kW y periodo supervalle (CNMC, 2017).

Nota 2: n.a. es no aplica. En cualquier caso, en la CAPV hay en torno a 280 estaciones de servicio (MINETUR, 2016a). En lo relativo a las infraestructuras, en el caso del BEV, se establecen 10 puntos para ciudades de más de 100.000 habitantes, 20 para más de 200.000 y 100 para más de un millón. En el caso del GNC, las cifras son, 1 punto para ciudades de más de 100.000 habitantes, 2 para más de 200.000 y 10 para más de un millón; y para el GLP, en función del número de automóviles, teniendo en cuenta que en la CAPV se deberían alcanzar 119 puntos de suministro frente a los 28 ya existentes. En el caso del PHEV, se considera que al existir instalaciones convencionales para el consumo de gasolina, sólo hacen falta instalaciones de carga convencional. Estas serían proporcionales al consumo eléctrico (26%).

### *Aspectos medioambientales*

En la elaboración de este estudio se ha considerado necesario diferenciar, en primer lugar, las emisiones del transporte que producen efecto invernadero (conocidas como gases de efecto invernadero [GEI] y generalmente expresadas como gCO<sub>2eq</sub>), y las contaminantes que tienen un efecto relacionado con la salud de las personas expuestas a ellas (NO<sub>x</sub> y partículas), ya que los efectos de ambos tipos de emisiones no son los mismos.

Del mismo modo, su alcance tampoco es igual. Mientras que las que provocan efecto invernadero tienen un alcance o efecto global, lo que hace que su impacto sea independiente del lugar donde se producen, las de tipo contaminante cobran importancia por sus posibles efectos sobre las personas más directamente

expuestas, de manera que su mayor impacto es local o, dependiendo de las condiciones meteorológicas, zonal.

Los vehículos, eléctricos de batería o los híbridos enchufables, por la ausencia de emisiones *in situ*, en áreas en las que hay un alto nivel de exposición de las personas, no tienen impacto negativo en las mismas; pero ello no significa que, en la generación eléctrica (no *in situ*), se estén produciendo emisiones de ambos tipos: GEI y contaminantes (NO<sub>x</sub> y partículas).

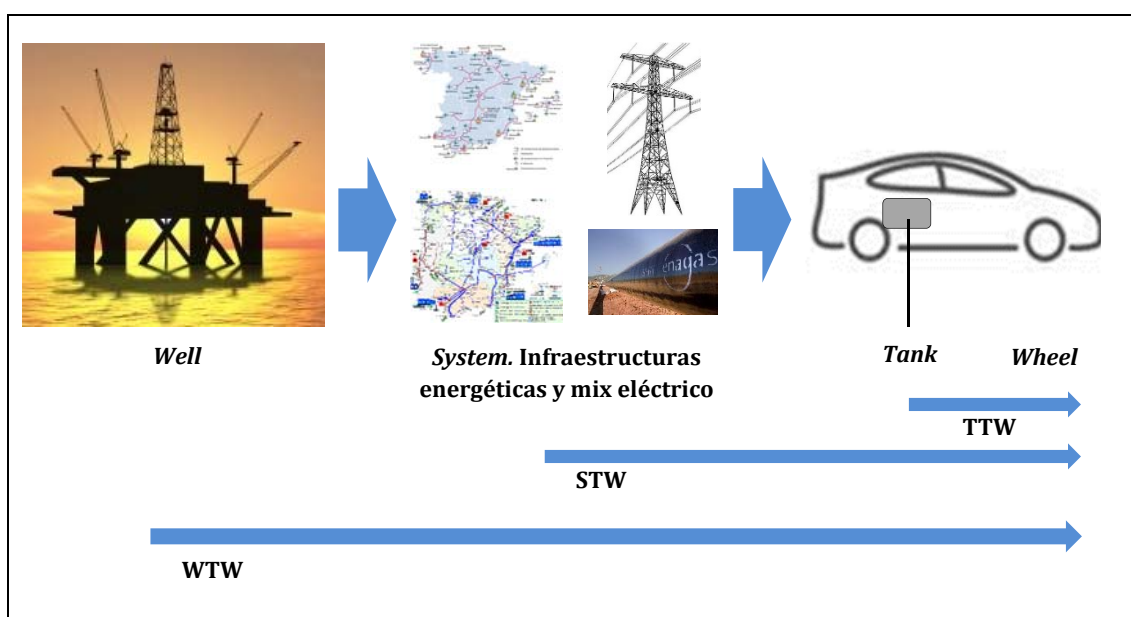
Es por ello que se han considerado las emisiones que se producen a lo largo de toda la cadena de producción y suministro de los combustibles y energías, yendo “aguas arriba”, desde el lugar donde se utilizan los vehículos; de manera que se pueda distinguir entre lo que ocurre en el vehículo, es decir, “del tanque a la rueda” (TTW o *tank-to-wheels* en inglés), y lo que ocurre a lo largo de la cadena, es decir, lo que se denomina “del pozo a la rueda” (WTW o *well-to-wheels* en inglés).

Para establecer unas medidas homogéneas respecto a las emisiones, la fuente básica empleada ha sido el estudio de JRC-CONCAWE-EUCAR de 2014 *Well to Wheels Report*. Este diferencia no sólo entre emisiones TTW y WTW para distintas tecnologías de vehículo, sino que también las identifica para los vehículos actuales, a fecha del año 2010, y los previstos para el año 2020 y posteriores (2020+). En el estudio que el lector tiene en sus manos para los vehículos de gasóleo y gasolinas, susceptibles de sustitución, se han considerado los niveles de emisión de 2010 como actuales, mientras que para los vehículos de energías alternativas, se consideran las emisiones a 2020 y posteriores (2020+) para la sustitución.

Por ello, los ahorros en emisiones resultantes serán mayores que lo que se puede esperar, dado que es previsible que los vehículos convencionales también reduzcan sus emisiones. En este sentido, en el capítulo 4, se compara gráficamente la reducción de emisiones de GEI que supondrá la evolución de los vehículos convencionales, es decir, 2020+ (29% de disminución en el caso de la gasolina y 27% en el gasóleo). No obstante, la sustitución de gasolina y gasóleo por versiones más eficientes no es objeto de este estudio.

En este trabajo se ha considerado, además, necesario realizar el cálculo de las emisiones “intermedias” entre ambos conceptos. Se trata de aquellas que tienen lugar en el sistema energético del país, que se producen en la transformación de las energías primarias en combustibles finales, en su transporte y suministro y su uso final por el vehículo, sea el gas natural, la energía eléctrica o los productos petrolíferos. A esto se le ha denominado “del sistema a la rueda” (STW o *system-to-wheels* en inglés). En el gráfico siguiente se ilustran los conceptos utilizados para calcular o estimar las emisiones.

**FIGURA 1. Esquema comparativo entre TTW, STW y WTW**



Fuente: elaboración propia.

Nota: STW es desde la entrada al sistema energético, o del *mix* eléctrico, hasta la rueda. Es, a su vez, suma del sistema al tanque y del tanque a la rueda.

En la consideración de las emisiones se han tenido también en cuenta aquellas debidas a la conducción. El TTW, se evalúa mediante el Nuevo Ciclo Europeo de Conducción (NEDC o *New European Driving Cycle*) en el proceso de certificación. Según la Agencia Europea de Medioambiente, esto puede dar lugar a valores hasta un 30% inferiores, a los medidos en condiciones de conducción real. La UE introducirá un nuevo test adicional, el RDE (*Real Driving Emissions*) en la certificación de los vehículos a partir de 2017. Por ello, en este trabajo los valores TTW se incrementan en un 30% para acercarlos a la realidad.

Respecto a las emisiones contaminantes, se ha partido de la norma Euro 6<sup>27</sup>. El parque actual de turismos no está compuesto únicamente por vehículos Euro 6, ya que por su antigüedad incluye un elevado número de vehículos Euro 5 y Euro 4. Sin embargo, dada la existencia de vehículos Euro 6, se considera adecuado estimar las emisiones del parque en base a estos, que por tanto darán como resultado emisiones mínimas. En todo caso, de considerarse un parque más contaminante (con vehículos Euro 5 y Euro 6), las sustituciones por VEA daría lugar a reducciones aún mayores que las que se calculan en este trabajo.

Dado que en el caso del BEV las emisiones TTW son nulas (así como para el PHEV en lo relativo a su consumo eléctrico), las emisiones STW serán las STT, es decir, las relativas al sistema de generación eléctrico español. Sin embargo, las emisiones asignadas son las del sistema de generación actual peninsular. De esta manera, estas

<sup>27</sup> Adviértase que en emisiones contaminantes se utilizan como base, las emisiones de los vehículos Euro 6, mientras que para las emisiones de GEI, se emplean los datos de 2010. La razón en la diferencia de criterios se debe a la disponibilidad de datos.

emisiones promedio de GEI para el BEV y el PHEV se situarían, en el período 2013-2015, en 237 kgCO<sub>2eq</sub>/MWh<sup>28</sup>, es decir, 49 gCO<sub>2eq</sub>/km<sup>29</sup>, en base a datos de Red Eléctrica.

Bajo los supuestos explicados en el capítulo 4 y complementados con el anexo 5, el cumplimiento de los objetivos de la Unión Europea en el caso de España llevaría en el entorno de 2025 a que las emisiones de CO<sub>2</sub> sean 131 kgCO<sub>2eq</sub>/MWh<sup>30</sup>, lo que se traduciría en unas emisiones de 24 gCO<sub>2eq</sub>/km<sup>31</sup>. Esto puede verse representado gráficamente en el gráfico 1.

Por otra parte, en las emisiones de NO<sub>x</sub> del *mix* eléctrico peninsular, la implementación de la regulación y de la normativa actual junto con la instalación de desnitrificadores a futuro en las centrales térmicas hará que, a partir del año 2020, las emisiones de NO<sub>x</sub>/kWh sean menores<sup>32</sup> que las actuales. En la tabla siguiente se han reflejado las que se consideran en base a la situación presente. Si bien no es fácil precisar las cifras a partir del año 2020, se han estimado en 27 mg/km, al igual que en el caso del CO<sub>2</sub>, se trata de una estimación a futuro y se ha optado por las emisiones del *mix* actual (promedio del período 2013-2015).

**TABLA 2. Resumen de los principales supuestos relativos a las emisiones**

Tipo de vehículo	Emisiones TTW			Emisiones STW			Emisiones WTW
	GEI (gCO <sub>2eq</sub> /km)	NO <sub>x</sub> (mg/km)	PM (mg/km)	GEI (gCO <sub>2eq</sub> /km)	NO <sub>x</sub> (mg/km)	PM (mg/km)	GEI (gCO <sub>2eq</sub> /km)
Gasolina (2010)	203	60	5	218	73	5,2	232
Gasóleo (2010)	156	80	5	171	93	5,2	181
BEV (vehículo eléctrico de batería) (2013-2015)	0	0	0	48,5	86	2,9	55
PHEV (híbrido enchufable) (2020+)	65	20	1,6	86	46	2,4	88
GNC (gas natural comprimido) (2020+)	113	50	1	118	57	1,4	137
GLP (gases licuados del petróleo) (2020+)	127	50	1	130	52	1,2	139
Hyb (híbrido) (2020+)	91	30	2,2	98	32	2,3	104

■ Relevante a nivel local/zonal ■ Relevante a nivel del sistema energético peninsular

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: El consumo eléctrico del PHEV es en base al consumo del BEV, es decir, emisiones del mix eléctrico actual.

Nota 2: Las emisiones de partículas en cuanto a consumo eléctrico es PM<sub>10</sub>.

<sup>28</sup> Asumiendo una generación eléctrica un 13% superior al consumo final de electricidad debido a pérdidas en transporte y distribución y al consumo por bombeo.

<sup>29</sup> Para un consumo de 0,18 kWh/km.

<sup>30</sup> Asumiendo una generación eléctrica un 13% superior al consumo final de electricidad debido a pérdidas en transporte y distribución y al consumo por bombeo.

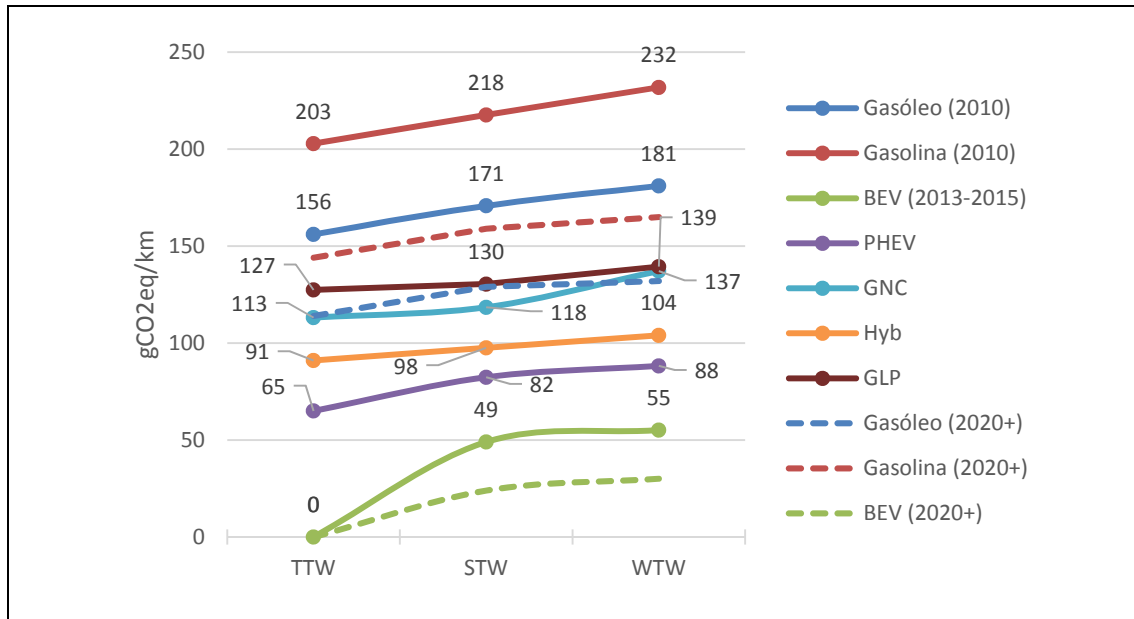
<sup>31</sup> Para un consumo de 0,18 kWh/km.

<sup>32</sup> Hay que considerar la enmienda de la Directiva de Techos Nacionales de Emisión 2001/81/CE.



Una de las cuestiones a tener en cuenta al ir “aguas arriba” del TTW al WTW es que en todos los casos se incrementan las emisiones, pero con pendientes diferentes, de manera que las reducciones varían según la tecnología o la energía y el punto en la cadena de la energía. Considerando relevantes estas diferencias, se ilustran en el gráfico siguiente por tipos de vehículos, al igual que se incluyen las variaciones estimadas para el horizonte 2020+.

**GRÁFICO 1. Emisiones de CO<sub>2eq</sub> TTW, STW y WTW por tipos de vehículos**

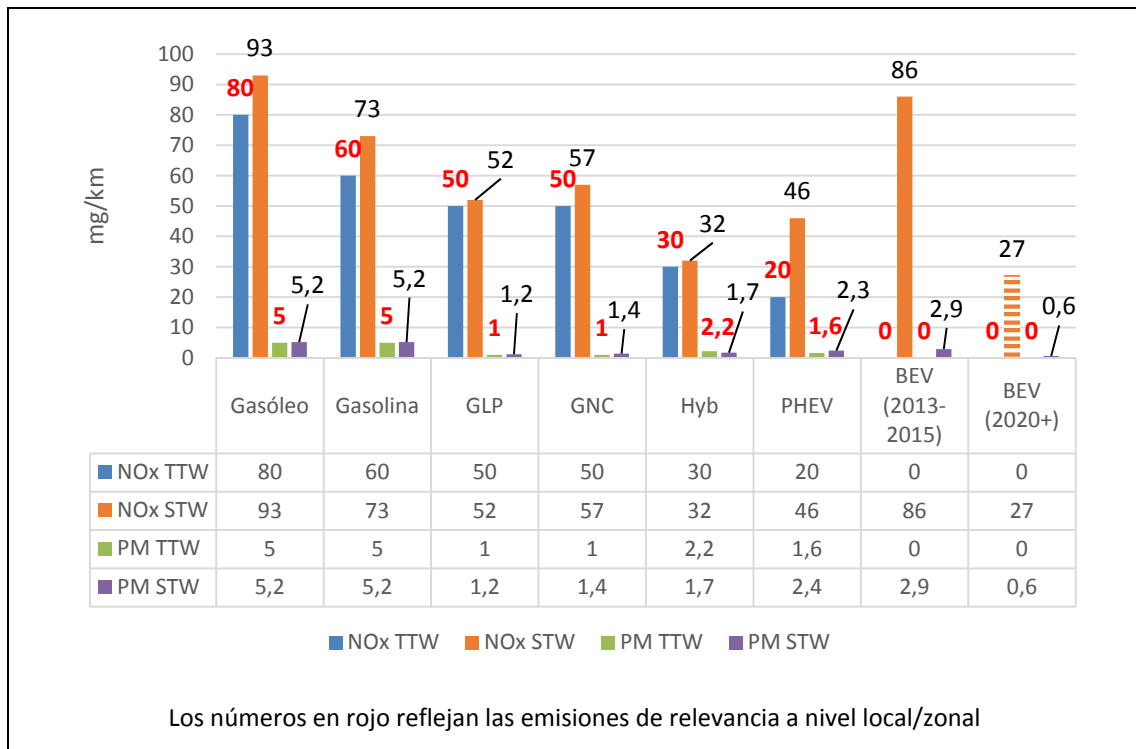


Fuente: elaboración propia.

Nota: Para mejorar la visibilidad de los valores, las emisiones de gasóleo, gasolina y BEV 2020+ se indican aquí. Gasóleo (gCO<sub>2eq</sub>/km): TTW 114, STW 129, WTW 132. Gasolina (gCO<sub>2eq</sub>/km): TTW 144, STW 159, WTW 165. BEV (gCO<sub>2eq</sub>/km): STW 24, WTW 30.

En cuanto a las emisiones contaminantes, se han considerado como las más relevantes las “del tanque a la rueda” (TTW) y “del sistema a la rueda” (STW), que se reflejan en el gráfico siguiente.

**GRÁFICO 2. Emisiones contaminantes por tipo de vehículos (TTW y STW)**



Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b), (MAGRAMA, 2014), (Werpy et al., 2010) y (REE, 2016).

Nota: Las emisiones de partículas debidas al consumo eléctrico son PM10.

### Aplicación a la CAPV. Casos, escenarios y resultados

Las características técnicas, económicas y medioambientales reflejadas en la sección anterior se aplican al País Vasco, en base a las estadísticas de desplazamientos del Estudio de la Movilidad de la CAPV<sup>33</sup>, citadas al comienzo de este resumen.

Teniendo en cuenta los desplazamientos diarios dentro y entre las comarcas que forman la CAPV en día laborable<sup>34</sup>, y tras una primera selección de los casos más representativos por número de desplazamientos, se recogen catorce casos que cubren el 72% de los desplazamientos en vehículos privados (no en transporte público) de la CAPV.

Para hallar qué desplazamientos de los seleccionados corresponden a los de turismo, a cada caso, se le aplica el porcentaje correspondiente que recoge el Estudio de la Movilidad citado, siendo mayor o menor según sea el caso (intraurbano, intracomarcal, intercomarcal o interterritorial)<sup>35</sup>. Al mismo tiempo, se aplica una tasa de ocupación de 1,2 pasajeros por turismo para llegar así al número de desplazamientos diarios de automóviles.

<sup>33</sup> De 2011, siendo estos los últimos datos disponibles en la elaboración del cuerpo principal del estudio.

<sup>34</sup> El conjunto de desplazamientos entre comarcas puede verse en el anexo 6.

<sup>35</sup> Estando las estadísticas en las tres capitales vascas ya especificadas en el mismo documento.

Asignando a cada uno de estos casos, rutas hipotéticas de recorridos representativos en automóvil de pasajeros, se estiman las distancias recorridas por vehículo.

Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente, en la tabla que sigue se recogen los casos seleccionados, con indicación de las rutas y los kilómetros de las mismas, los desplazamientos diarios (D./día), el número de automóviles que se desplazan diariamente para cada caso y ruta (D.Aut./día), así como los millones de pasajeros-kilómetro al año<sup>36</sup> (Mpas-km/año). También se incluyen los porcentajes que representan los casos en el conjunto del análisis realizado. En la tabla se puede observar la importancia de ciertos casos, lo que permite también incidir en aquellos que suponen un mayor peso en el transporte privado de pasajeros por carretera como Bilbao y el Gran Bilbao, y que permiten afirmar que los resultados son representativos de la CAPV.

A partir de las distancias de las rutas (en kilómetros) y de los desplazamientos en turismos, se llega a los kilómetros recorridos en cada caso. Estas son las cifras que se han utilizado para calcular los consumos de combustibles y las emisiones de las distintas tecnologías o energías, es decir, de los distintos tipos de vehículos. Si se asigna un kilometraje medio anual de 20.000 kilómetros a los vehículos (FACONAUTO, 2016), puede calcularse el número de automóviles (turismos) que podrían sustituirse en cada caso.

---

<sup>36</sup> Al estar referido el Estudio de la Movilidad de la CAPV a días laborables, para el cálculo de los valores anuales se ha considerado un año de 249 días, que fueron los días laborables en el año de realización de la encuesta (2011).

TABLA 3. Casos seleccionados

Casos	Rutas	km	D./día	D.Aut./día	% CAPV	% selección	Mpas-km/año	% selección	km/día
Vitoria-Gasteiz	Ullibarri de los Oleros-Aeropuerto de Vitoria	27,4	659.280	103.837	11	15	850	7	2.845.123
Duranguesado	Durango-Ermua	15,8	191.595	98.671	3	4	466	4	1.559.009
Bilbao	Basarrate-San Inazio	7,1	887.013	139.705	14	21	296	2	991.902
Gran Bilbao	Goikolexea-Cobaron	41,1	1.049.595	540.541	17	24	6.638	54	22.216.253
Alto Deba	Mondragón-Vergara	12,2	155.473	80.069	3	4	292	2	976.837
Bajo Bidasoa	Irún-Fuenterrabia	6,9	183.687	94.599	3	4	195	2	652.732
Bajo Deba	Eibar-Motrico	26,2	118.330	60.940	2	3	477	4	1.596.627
Donostia-San Sebastián	Lugaritz-Herrera	9,7	491.719	77.446	8	11	224	2	751.224
Donostialdea	Rentería-Hernani	15,5	256.860	132.283	4	6	613	5	2.050.385
Goierri	Beasain-Zumarraga	14,5	151.360	77.950	2	4	338	3	1.130.281
Urola Costa	Zarauz-Azpeitia	25,9	169.811	87.453	3	4	677	5	2.265.024
De Bilbao a Plentzia-Mungia		21,9	90.782	59.689	1	2	391	3	1.307.193
De Bilbao a Vitoria		61,9	30.521	20.856	0,5	1	386	3	1.290.987
De Bilbao a San Sebastián		101	22.544	15.405	0,4	1	465	4	1.555.912
Subtotal			4.458.570	1.575.414	72	100	12.307	100	41.780.360
Total CAPV			6.200.572						

Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno Vasco, 2011) y (Google Maps, 2016).

Nota 1: D. = Desplazamientos y D.Aut = Desplazamientos de automóviles (turismos).

Nota 2: En el cálculo de Mpas-km/año no se aplica la tasa de ocupación de 1,2 pasajeros/automóvil, pero sí los porcentajes de desplazamiento en automóvil.

Nota 3: En el caso de las capitales vascas, el Estudio de la Movilidad ofrece un desglose en particular para cada una de ellas. De esta manera no es necesario aplicar la tasa del 18,9% para desplazamientos urbanos, ya que se pueden distinguir los desplazamientos motorizados en medios individuales como sigue (conductor+pasajero): Vitoria, 142.641+20.781; Bilbao, 83.224+13.164; Donostia, 87.408+21.131.

Nota 4: Para los desplazamientos de una capital hacia afuera, se han incluido sus comarcas correspondientes al tener un volumen de desplazamientos relevante. Así, de Bilbao a Plentzia-Mungia incluye los desplazamientos del Gran Bilbao en la misma dirección; los de Bilbao a San Sebastián incluye los del Gran Bilbao y Donostialdea en la misma dirección; y los de Bilbao a Vitoria incluye los de Gran Bilbao y la Llanada Alavesa en la misma dirección. Véase anexo 6.

### *Sustituciones totales. Parques “monoenergéticos” y conclusiones*

Tras esto, se procede a realizar un primer ejercicio de sustitución, aplicándolo a todo el parque. Se trata de un análisis hipotético que, si bien no es realista, permite tener cifras de orden para comparar los resultados de las alternativas y, además, es una base para las sustituciones progresivas que se analizan posteriormente.

Así pues se ha supuesto una serie de sustituciones “totales” e “inmediatas” por parques monoenergéticos, en los que, para cada caso, todo el parque existente convencional (denominado CONV en las tablas) se sustituye bien por un parque 100% eléctrico (BEV o PHEV), o de gas natural comprimido (GNC), o de gases

licuados del petróleo (GLP) o de híbridos convencionales (Hyb)<sup>37</sup>. Los resultados se recogen en las tablas siguientes, que incluyen el ahorro de combustible, el sobrecoste de vehículos, las inversiones en infraestructuras y el periodo de recuperación del sobrecoste de vehículos en años (*payback simple*).

**TABLA 4. Resumen de resultados para sustituciones de gasóleo y gasolina por energías alternativas en los casos seleccionados (aspectos económicos)**

VEA	Ahorro en combustible (M€/año)	Sobrecoste de vehículos (M€)	<i>Payback simple</i> (años)	Inversión en infraestructuras (M€)
CONV por BEV	588	4.795	8	572
CONV por PHEV	413	6.954	17	143
CONV por GNC	482	2.376	5	7
CONV por GLP	357	660	2	2,60
CONV por Hyb	338	2.688	8	0

Fuente: elaboración propia.

Nota: Los datos se refieren al total de los casos estudiados.

Puede observarse la notable diferencia en los años de recuperación del sobrecoste de vehículos con el ahorro de combustible de once años en el PHEV, de siete en los eléctricos de batería, así como de cuatro y dos años en los de gas natural comprimido y en los de gases licuados del petróleo, dado, en estos casos, el menor sobrecoste de vehículos respecto a los eléctricos.

Las cifras de sobrecostes de vehículos eléctricos son del orden de 4.800 M€, y suponen la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> entre 1,5 y 1,8 MtCO<sub>2</sub>eq/año (WTW y TTW), a perpetuidad, como se verá a continuación, y unas reducciones de NO<sub>x</sub> y partículas de 741 t/año y de 76 t/año (TTW), respectivamente.

En la siguiente tabla se resumen los resultados medioambientales en cuanto a reducción de emisiones de GEI, de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y de partículas.

<sup>37</sup> El motivo de introducir el híbrido es que resulta una opción con buen potencial de crecimiento de mercado a corto plazo por su coste, eficiencia y capacidad de reducción de emisiones, de manera que es interesante evaluar qué impacto puede tener.

**TABLA 5. Resumen de resultados para sustituciones de gasóleo y gasolina por energías alternativas en los casos seleccionados (aspectos medioambientales)**

VEA	Reducción GEI (ktCO <sub>2eq</sub> /año)			Reducción NO <sub>x</sub> (t/año)		Reducción partículas (t/año)	
	TTW	STW	WTW	TTW	STW	TTW	STW
CONV por BEV	1.837	1.483	1.542	741	-19*	52	27*
CONV por PHEV	1.161	1.135	1.202	541	400*	35	30*
CONV por GNC	661	765	689	221	287	42	39
CONV por GLP	512	637	665	221	332	42	0,2
CONV por Hyb	890	978	1.034	466	542	29	30

■ Relevante a nivel local/zonal    ■ Relevante a nivel del sistema energético

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: Los datos se refieren al total de los casos estudiados.

Nota 2: (\*) Las emisiones STW del sistema eléctrico (BEV y parte del PHEV) se corresponden con el *mix* actual (promedio del período 2013-2015). Resultan valores negativos. Hay que tener en cuenta que por un lado, las emisiones de NO<sub>x</sub> en la sustitución deben considerar las locales (TTW). En cualquier caso para el 2020+ ver capítulo 4 y anexo 5. Los resultados totales serían: reducción BEV STW de 595 t NO<sub>x</sub> y 48 t PM; reducción PHEV STW de 560 tNO<sub>x</sub> y 35 t PM.

Es importante llamar la atención sobre el hecho de que las reducciones, una vez que la sustitución ha tenido lugar, no solo tienen efecto el año siguiente, sino también en los años sucesivos, dado que no se va a volver a la situación de partida, por lo que el beneficio medioambiental se produce “a perpetuidad”.

¿Cómo analizar estos resultados? Teniendo en cuenta las cifras resultantes, los parques “monoenergéticos” se comparan en base a distintos criterios, como son el ahorro de combustible, el coste específico del CO<sub>2</sub> evitado, los costes externos de las emisiones para precios dados (CO<sub>2</sub><sup>38</sup>, NO<sub>x</sub><sup>39</sup> y partículas) y la contribución a los objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de la CAPV<sup>40</sup>.

El ahorro económico de combustible no parece que requiera explicación. El coste específico de CO<sub>2</sub> se calcula como el cociente entre el sobrecoste de vehículos más inversiones en infraestructuras y en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Puede interpretarse como un indicador de eficiencia económica medioambiental para los GEI.

Si se asignan unos precios al CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas, otro indicador será la reducción de estos costes medioambientales. Finalmente, se calcula en qué medida (porcentaje) las diferentes alternativas contribuyen a los objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. A este respecto conviene tener en cuenta los objetivos señalados en la sección de estrategias y políticas de este resumen.

<sup>38</sup> Precio indicativo basado en precios internacionales de derechos de emisión. Para supuestos de precio de NO<sub>x</sub> y partículas, véase capítulo 4.

<sup>39</sup> Se ha supuesto que el coste del NO<sub>x</sub> es independiente de dónde se produce y que España cumple el techo de emisión de NO<sub>x</sub> fijado en la directiva 2001/81/CE de techos nacionales de emisión.

<sup>40</sup> A este respecto, se ha de tener en cuenta que, dado que los compromisos de reducción adoptados en la cumbre de París son por países, en el caso de la UE, se debería considerar el caso STW al ser el que proporciona el nivel de reducción interior.

A su vez, los criterios anteriores se ponderan asignándoles distintos pesos, según la importancia relativa que se atribuya a “políticas” u objetivos (ver tabla siguiente), lo que lleva a que se prime más un criterio u otro.

**TABLA 6. Pesos para ponderar los criterios de valoración de las alternativas**

Ponderación	Ahorro de combustible	Coste específico CO <sub>2</sub>	Reducción de costes medioambientales	Contribución a los objetivos de reducción de GEI
A	60%	20%	20%	0%
B	0%	20%	20%	60%
C	0%	30%	60%	10%
D	0%	60%	40%	0%
E	25%	25%	25%	25%

Fuente: elaboración propia.

Siguiendo los pesos dados a cada criterio según la tabla anterior, la posición de cada sustitución sería la siguiente, tanto para los criterios individuales como para los ponderados.

**TABLA 7. Orden de las alternativas según criterios y escenarios**

	Ahorro de combustible	Coste específico CO <sub>2</sub>	Reducción de costes medioambientales	Contribución a objetivos de reducción de GEI	Ponderación				
					A	B	C	D	E
CONV por BEV	1	4	3	1	2	2	3	4	2
CONV por PHEV	3	5	1	2	3	2	2	3	3
CONV por GNC	2	3	4	4	3	4	4	3	3
CONV por GLP	4	1	5	5	4	4	4	3	4
CONV por Hyb	5	2	1	3	4	2	2	2	3

Fuente: elaboración propia.

Se puede ver que, en cuanto a los criterios de ahorro de combustible y de contribución de los objetivos de reducción de GEI, el BEV es el más interesante, en este último caso con las emisiones TTW.

En cuanto al coste específico del CO<sub>2</sub>, calculado como el ratio entre los sobrecostes de vehículos e inversiones en infraestructuras respecto a la reducción de emisiones de GEI, los más interesantes son los de GLP y los híbridos convencionales, estando en último lugar los eléctricos (bien de batería o PHEV). Ello se debe a que, aquí, pesa negativamente el sobrecoste de los vehículos y la inversión en infraestructuras; mientras que para los de GLP, al tener las infraestructuras ya disponibles y un menor sobrecoste de vehículos, destaca en el criterio de eficiencia económico-medioambiental.

Si el criterio es la reducción de costes ambientales (teniendo en cuenta las emisiones STW) y se consideran unos precios dados del CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas, cuando los contaminantes tienen precios relativamente reducidos, el PHEV y el BEV siguen

teniendo una posición elevada en la prelación, bajando en el *ranking* cuando los precios de NO<sub>x</sub> tienen un precio elevado. Esto es debido al criterio STW, que incorpora las emisiones de NO<sub>x</sub> del parque de generación eléctrica, lo que lleva a pensar que no sólo se debe considerar en el parque eléctrico la reducción de CO<sub>2</sub>, sino también de NO<sub>x</sub><sup>41</sup>. Es previsible que, a futuro, ambas emisiones específicas se reduzcan, lo que sitúa las estimaciones en el lado “conservador” o de mínimos.

Si se incorporan ponderaciones a los distintos criterios, el panorama general es la prelación de los eléctricos e híbridos, quedando en posiciones intermedias o finales los de gas natural y los de GLP.

Para convertir el 100% de los turismos convencionales (gasóleo y gasolina) de los casos seleccionados en la CAPV, en vehículos eléctricos el sobre coste es del orden de 4.800 millones de euros y sería necesario invertir un cifra no lejana a los 400 millones de euros en infraestructuras de recarga. Ahora bien, con los supuestos de precios del estudio se ahorrarían cerca de 600 millones de euros anualmente, lo que significa que la recuperación del sobre coste de vehículos por ahorro de combustible se produciría en unos siete años.

#### *Análisis básicos de sensibilidad*<sup>42</sup>

Conviene conocer cómo se modificarían los resultados de ahorro económico de combustible ante el cambio de precios de las energías. Para ello se ha considerado el precio de los combustibles convencionales máximo en el periodo 2000-2015<sup>43</sup> (un 21% superior al supuesto base), lo que supondría una situación “Favorable” para las energías alternativas, al producirse un mayor ahorro de combustible. Si se toma por el contrario el mínimo del periodo citado (un 38% inferior al precio base), se produce una situación “Desfavorable” para las energías alternativas.

En el caso “Favorable”, para la penetración de los VEA, se ha tomado, por tanto, unos precios del gasóleo un 21% superiores a los 1,13 €/l del supuesto base, y en el “Desfavorable” un precio del gasóleo un 38% inferior al base. Esto implica, siguiendo los supuestos del capítulo 4, que los precios del gas natural (que en gran parte se consideran indexados a los del petróleo) y los de GLP (producto derivado del petróleo, producido en refinería en el caso de España), de considerarse variarían paralelamente al del gasóleo y gasolina en ese mismo porcentaje. En este escenario no se considera un descenso del precio de la electricidad.

En el “Desfavorable”, el precio de los combustibles convencionales sería un 21% inferior al base, implicando de nuevo un movimiento, en este caso descendente, de

<sup>41</sup> Aquí conviene notar que en los cálculos se han utilizado las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> y de NO<sub>x</sub> del parque existente. No se ha incorporado la estimación de la reducción de estas emisiones por la incorporación de renovables ni de las instalaciones de desnitrificación en centrales térmicas. Sin embargo, en los gráficos de aspectos ambientales sí se han reflejado las estimaciones a futuro.

<sup>42</sup> Se ha evaluado también el traslado de un porcentaje de los desplazamientos en turismos, a transporte público por autobús. Esto se hace para porcentajes del 10 y el 20%, tratándose de hallar sus potenciales beneficios. Ver capítulo 5.

<sup>43</sup> Ver capítulo 4.



los precios del gas natural y de los GLP en la misma proporción. Además, se podría producir un aumento del precio de la electricidad, consecuencia del aumento de demanda y del descenso de consumo de productos petrolíferos, por lo que se ha considerado un incremento del 10% como porcentaje orientativo.

Puede apreciarse que en el caso favorable la disminución del 21% afectaría con un ahorro porcentual similar del orden del 21%, en todas las sustituciones, si bien los eléctricos llegarían a mejorar el ahorro en un 30%.

Los casos desfavorables, donde el precio de los convencionales cayese un 38%, afectaría en porcentajes similares a todos los supuestos, salvo al PHEV, que tiene un menor ahorro en el entorno del 46% y, sobre todo, del eléctrico de batería, que es muy sensible al resultado con disminución en ahorros de combustible del 60% (vs. 38% de convencionales).

Una pregunta relevante es si el orden de mérito se alteraría. En la tabla siguiente puede verse que los resultados únicamente se modifican en el supuesto desfavorable, en la sustitución de los convencionales por el gas natural comprimido, quedando por debajo el eléctrico de batería, y el resto igual.

**TABLA 8. Variación del orden de prelación según el ahorro económico de combustible**

	Ahorro combustible Base	Orden	Favorable	Variación	Orden	Desfavorable	Variación	Orden
CONV por BEV	588	1	769	31%	1	235	-60%	2
CONV por PHEV	413	3	515	25%	3	223	-46%	3
CONV por GNC	482	2	583	21%	2	299	-38%	1
CONV por GLP	357	4	431	21%	4	221	-38%	4
CONV por Hyb	338	5	409	21%	5	210	-38%	5

Fuente: elaboración propia.

Si por otro lado se atiende a la variación del coste de los vehículos, modificándose de esta manera el sobrecoste de los mismos, esto afectaría al coste específico del CO<sub>2</sub><sup>44</sup>. En este caso se ha optado por modificar el coste de los vehículos eléctricos (VE), en base a la previsible caída del precio de las baterías con el desarrollo de la tecnología<sup>45</sup>. Un menor precio de la batería afectará sobre todo al coste específico del CO<sub>2</sub> del BEV (hasta un 33% menor), frente al del PHEV (hasta un 4% menor), al tener la modalidad eléctrica un mayor peso en el BEV.

Otra posibilidad sería atender a una caída indicativa del 10% para todo el precio del vehículo, en base a baterías en combinación con posibles ayudas a la compra y el

<sup>44</sup> Para detalle ver capítulo 5.

<sup>45</sup> En el capítulo 4 se asume una caída de hasta el 57 % del precio de la batería en 2025, siendo esta un 35% del precio del BEV.

desarrollo del mercado). En este caso el coste específico bajaría hasta un 17% en el caso del BEV y hasta un 16% en el del PHEV.

Cabe mencionar que el desarrollo del mercado y las ayudas a la compra pueden orientar a la baja el precio de otros VEA. Esto sería especialmente notable en el caso del vehículo de GLP, que al ser el más cercano en precio a los convencionales terminaría por igualarlos en coste específico de CO<sub>2</sub>.

#### *Sustituciones progresivas. Supuestos, escenarios y conclusiones*

Ya se ha indicado que las sustituciones totales para parques “monoenergéticos” facilitan cifras de orden y son una guía para conocer qué alternativa es mejor según los criterios elegidos. También se ha subrayado que no se trata de casos realistas, ya que las sustituciones tendrán lugar a futuro, mediante penetraciones progresivas en el tiempo de los diferentes tipos de VEA. Por ello, se han estudiado también las penetraciones progresivas de diferentes tipos de vehículos en el periodo 2015-2035.

A este fin, se considera un parque de unos 22 millones de turismos en España<sup>46</sup> y 950.000 en la CAPV<sup>47</sup>. A esto se le añade un ritmo de matriculación anual de 1.000.000 de turismos en España.

También se han considerado los objetivos del Gobierno de España en el Marco de Acción Nacional, que en el año 2020 pretende alcanzar 250.000 vehículos de GLP, 150.000 vehículos eléctricos y 17.200 de GNC. Asimismo, se consideran los objetivos en contribución de renovables, que a partir de 2020 se situarían en un 10% de consumo en relación con los combustibles de automoción convencionales.

Teniendo en cuenta lo anterior se han elaborado distintos supuestos para cada tipo de vehículos, siendo tres para el vehículo eléctrico (Superior, Inferior y Superior Plus), dos para el GNC (Superior e Inferior), uno (base) para el GLP y uno (también base) para el híbrido convencional (Hyb). Hay también un “supuesto” que considera el PHEV, que crecería al mismo ritmo que el supuesto superior eléctrico, pero con una cuota de matriculación del 49% frente a un 51% del BEV. En el resto de supuestos, los vehículos eléctricos son todos de batería o 100% eléctricos (BEV).

En el caso del vehículo eléctrico, el supuesto denominado “Superior Plus” supondría que desde el periodo 2020-2025 al año 2030 tienen lugar un conjunto de circunstancias, todas favorables, para una incorporación más rápida del vehículo eléctrico. A saber, mayor oferta de vehículos eléctricos por parte de los fabricantes (OEM) y desarrollo global de vehículos eléctricos en países como China, que supondría una aceleración del crecimiento del mercado. Al mismo tiempo habría una acusada disminución de costes de vehículos, fundamentalmente por la disminución de costes de las baterías, un aumento de su autonomía y un fuerte desarrollo de las infraestructuras de recarga, tanto en carretera como en el sector

<sup>46</sup> 22.029.512 (DGT, 2014).

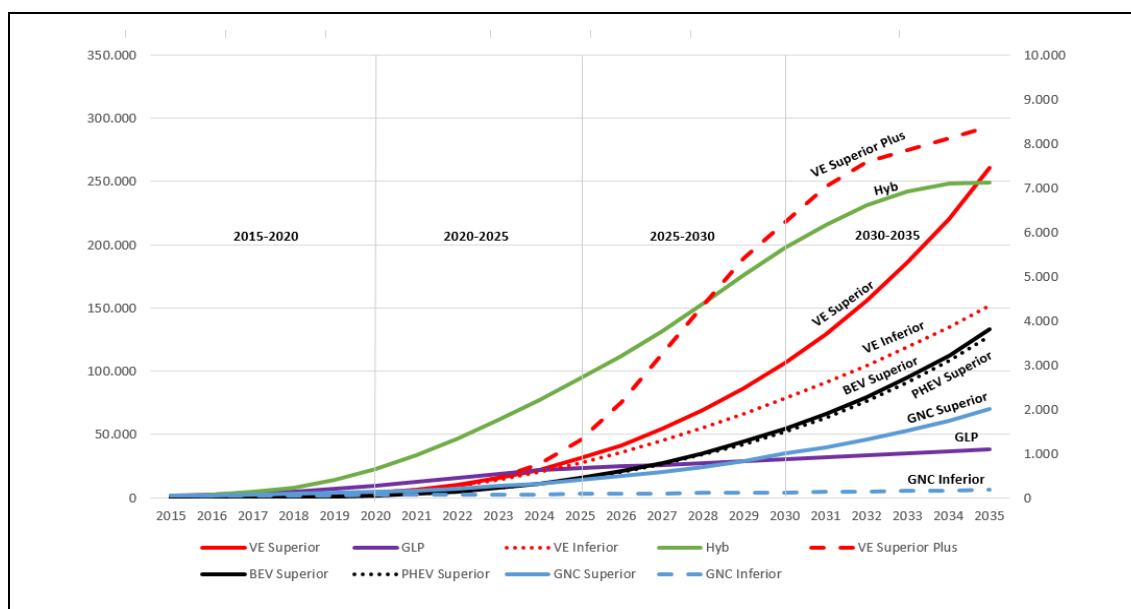
<sup>47</sup> 946.649 (OTEUS, 2014).

terciario y en el residencial (carga vinculada). Este escenario vendría además soportado por un programa de apoyo o incentivos impulsados por la Administración Pública.

Debe advertirse que la aparente baja penetración de gas natural debe evaluarse en el contexto de que se trata de turismos y no incluye vehículos más pesados en los que previsiblemente, el gas tendrá un mayor grado de penetración.

El conjunto de supuestos lleva a crecimientos diferentes del parque de cada tipo de vehículos en la CAPV, que se detallan en el capítulo 5, y que sirven para la elaboración posterior de los escenarios. El resultado de dichos supuestos se puede apreciar en el gráfico que sigue, donde se distingue el resultado de los distintos supuestos aplicados al parque de vehículos de la CAPV.

**GRÁFICO 3. Introducción progresiva de los VEA hasta 2035 en la CAPV en número de vehículos en todos los escenarios, para las distintas energías**



Fuente: elaboración propia.

Nota: Los turismos de GNC se leen en el eje de la derecha.

Como orientación, los valores que se alcanzan de *stock* en el parque de automóviles en 2030 serían: 8%, 11% y 23% para los supuestos de vehículo eléctrico Inferior, Superior y Superior Plus respectivamente; 0,01% y 0,1% para el GNC Inferior y Superior respectivamente; 3% para el GLP y 21% para el híbrido.

Combinando estos supuestos se obtienen los diferentes escenarios, que se detallan en la tabla siguiente y se representan en el gráfico que se encuentra a continuación, incluyendo asimismo la evolución de los vehículos convencionales.

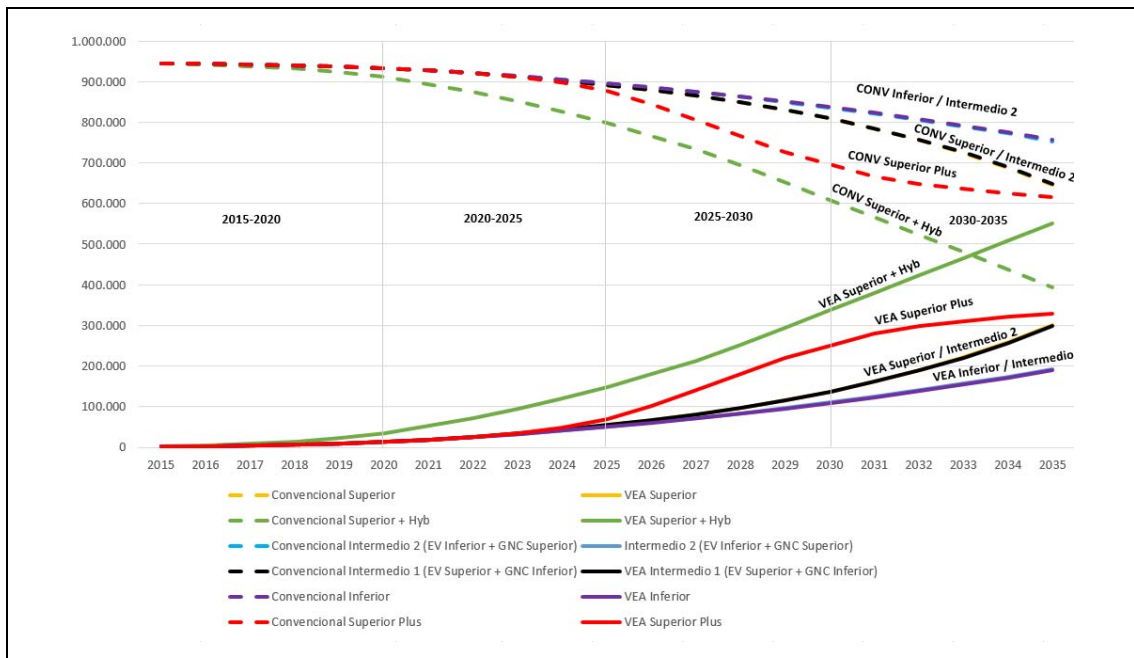
**TABLA 9. Composición de los escenarios para los VEA e Hyb**

Escenarios	Nº	BEV	PHEV	GNC	GLP	Hyb
Superior + Hyb	I	Sup	0	Sup	Base	Base
Superior Plus	II	Sup Plus	0	Sup	Base	0
Intermedio 2 (EV Inf y GNC Sup)	III	Inf	0	Sup	Base	0
Superior	IV	Sup	0	Sup	Base	0
Intermedio 1 (EV Sup y GNC Inf)	V	Sup	0	Inf	Base	0
Inferior	VI	Inf	0	Inf	Base	0
Superior + Hyb + PHEV	VII	Sup	Sup	Sup	Base	Base

Fuente: elaboración propia.

Nota: El sobrecoste acumulado es el sobrecoste teniendo en cuenta la caída del precio de las baterías (véase subapartado 4.2.3).

**GRÁFICO 4. Introducción progresiva de los VEA hasta 2035 en la CAPV en número de vehículos en todos los escenarios, para las distintas energías agrupadas en convencionales y alternativas**



Fuente: elaboración propia.

Llama la atención los cambios, ya muy apreciables, en el periodo 2025-2030 y, sobre todo, en el lustro 2030-2035. En particular, se observa un cruce en número de vehículos entre los convencionales y los VEA en el escenario I (Superior + Híbrido).

Escenarios y resultados

Para los siete escenarios, los resultados en términos de números de vehículos, sobrecoste de los mismos, inversión en infraestructuras, ahorros en combustibles y *pay-back* se pueden ver en la tabla siguiente y las emisiones de GEI, NO<sub>x</sub> y partículas, en la que se encuentra a continuación<sup>48</sup>.

<sup>48</sup> El lector interesado puede ver más detalle y más escenarios en el capítulo 5 de, apartado 5.3 del presente estudio, así como en el anexo 7.

**TABLA 10. Resultados de los escenarios para los VEA e Hyb para los casos seleccionados en términos económicos**

Escenario (Nº)	Nº Vehículos	Sobre-coste (M€)	Infraestructuras (M€)	Ahorro en combustible (M€)	Payback (años)
I	151.875	1.960	161	1.875	7
II	91.549	1.424	178	1.550	7
III	52.752	781	92	772	7
IV	83.747	1.297	161	1.043	7
V	83.437	812	161	1.038	5
VI	52.251	491	78	766	5
VII	151.875	2.312	100	1.749	9

Fuente: elaboración propia.

Nota: El sobrecoste acumulado tiene en cuenta la caída del precio de las baterías (véase subapartado 4.2.3).

**TABLA 11. Resultados de los escenarios para los VEA e Hyb para los casos seleccionados en términos de emisiones**

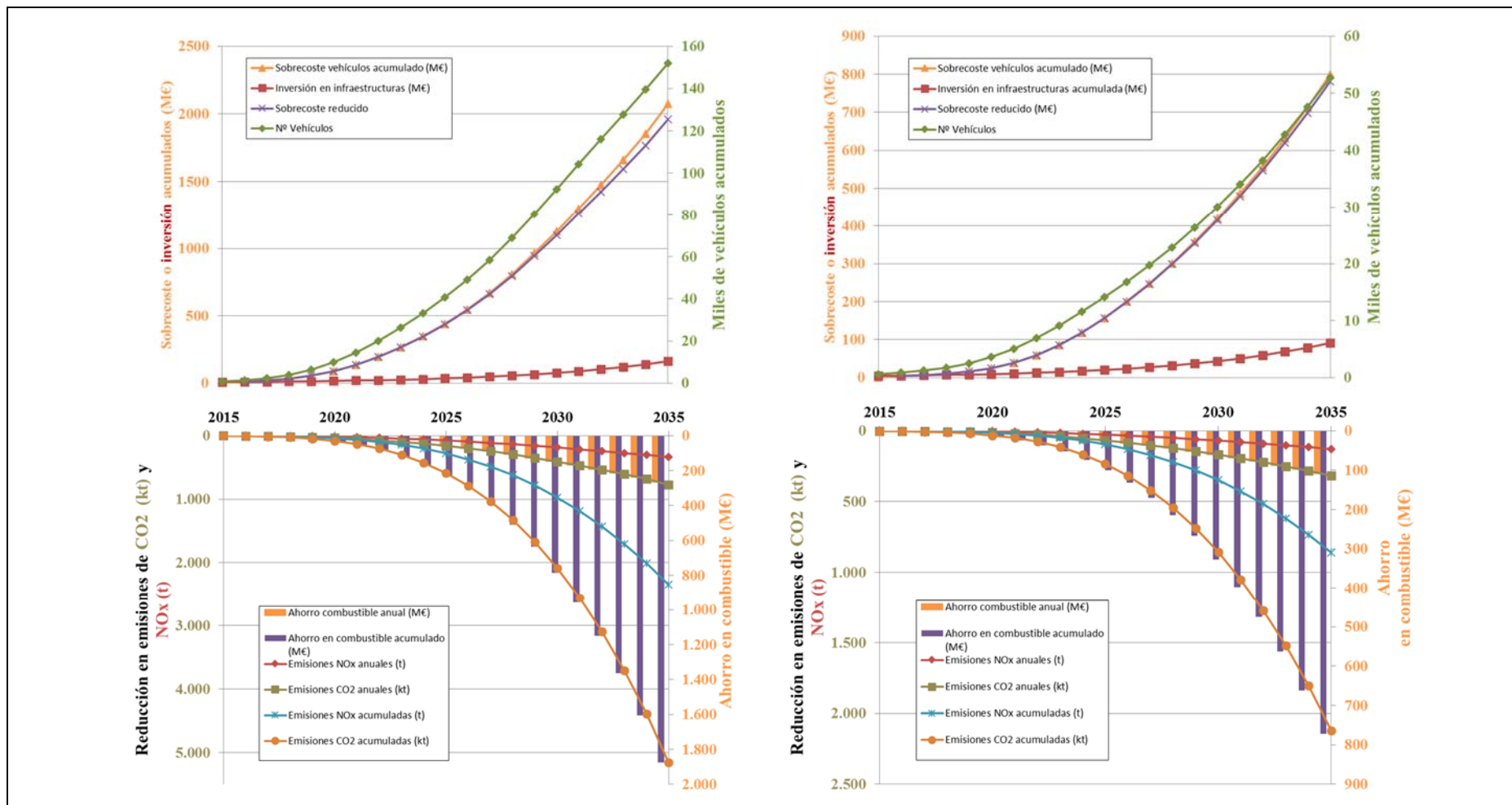
Escenario (Nº)	Reducción CO <sub>2eq</sub> (kt)	Reducción NO <sub>x</sub> (t)	Reducción PM (t)
I	5.158	2.347	204
II	4.553	1.842	198
III	2.122	862	98
IV	2.971	1.204	133
V	2.963	1.201	132
VI	2.114	859	97
VII	4.664	2.201	175

Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar, en las sustituciones progresivas hay un número inferior de VEA que en las sustituciones totales, alcanzándose como se verá un máximo de 130.000 vehículos sustituidos frente a los 260.000 de las sustituciones totales.

Para los escenarios I y III, en los siguientes gráficos se observa la evolución, tanto en términos anuales como acumulados, del sobrecoste de vehículos, inversión en infraestructuras, ahorro de combustible y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

**GRÁFICO 5. Sobrecoste en inversiones frente a número de vehículos. Reducción de emisiones y ahorro de combustibles. Escenarios I y III**



Fuente: elaboración propia.

Es importante que, al igual que se ha hecho en el caso de las sustituciones “monoenergéticas”, tratar de identificar las ventajas e inconvenientes o las bondades y méritos relativos a los diferentes escenarios, utilizando para ello algún criterio que permita evaluarlos.

En este sentido, se utilizan los mismos criterios que en el caso de sustituciones totales, es decir, ahorro en combustibles, coste específico del CO<sub>2</sub>, reducción de costes ambientales y contribución a los objetivos de reducción de emisión de GEI de la CAPV. Asimismo, a cada criterio se le conceden pesos diferentes según “objetivos” con las ponderaciones siguientes.

**TABLA 12. Pesos para ponderar los criterios de valoración de las alternativas**

Ponderación	Ahorro de combustible	Coste específico CO <sub>2</sub>	Reducción de costes medioambientales	Contribución a objetivos de reducción de GEI
A	60%	20%	20%	0%
B	0%	20%	20%	60%
C	0%	30%	60%	10%
D	0%	60%	40%	0%
E	25%	25%	25%	25%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla que sigue puede verse, según criterios individuales y ponderados, los órdenes de prelación resultantes de los diferentes escenarios.

**TABLA 13. Orden de los escenarios según criterios**

	Ahorro de combustible	Coste específico CO <sub>2</sub>	Ahorro de costes medioambientales	Contribución climática	Ponderación				
					A	B	C	D	E
Superior + Hyb	1	4	1	1	2	2	2	3	2
Superior Plus	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Intermedio B (GNC Sup + VE Inf)	6	5	6	6	6	6	6	5	6
Superior	4	7	4	4	5	5	5	6	5
Intermedio A (GNC Inf + VE Sup)	5	2	5	5	4	4	4	3	4
Inferior	7	1	7	7	6	6	5	3	6
Superior + Hyb + PHEV	2	6	1	2	3	3	3	4	3

Fuente: elaboración propia.

Puede verse que en términos de ahorro de combustible, coste específico de CO<sub>2</sub> y contribución a los objetivos de reducción de GEI, el Superior y el Superior con híbrido, es decir, en los que predomina una mayor penetración de eléctricos de batería e híbridos, tienen resultados mejores. Sin embargo, en cuanto a la reducción de costes medioambientales, el escenario Inferior es el que se sitúa en primera posición.

En cuanto a las penetraciones progresivas, la variedad de escenarios demuestra que las distintas combinaciones siempre dan órdenes importantes de beneficios ambientales, lo que implica que hay espacio para la convivencia de distintas tecnologías.

En función de los diferentes escenarios, el sobre coste de vehículos acumulado al año 2035, que es el año elegido en el estudio como final del horizonte, iría de 700 M€ a unos 1.700; la inversión en infraestructuras, de 80 a 150 M€; los ahorros en combustible, de 770 a 1.900 M€; las reducciones en emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas al 2035, de 2 a 5 MtCO<sub>2</sub>eq; las de NO<sub>x</sub>, de 850 a 2.300 toneladas y en partículas, de 78 a 180 toneladas.



## I. TRANSPORTE DE PASAJEROS EN LA CAPV

### 1. SITUACIÓN GENERAL

Para dar una panorámica general de cómo es el transporte de pasajeros<sup>49</sup> y la movilidad<sup>50</sup> por carretera en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) se van a describir en este primer capítulo algunos temas que se consideran de interés como los desplazamientos, el parque de vehículos y las matriculaciones, las infraestructuras y la composición modal. Cada uno de ellos aporta una característica fundamental del sector y en conjunto ofrecen datos de la CAPV desde el nivel comarcal hasta su contextualización en España o la Unión Europea según sea el caso.

#### 1.1. Desplazamientos

El análisis del sector del transporte en la CAPV implica la evaluación de una región compleja, ya que tiene una densidad urbana muy alta, con núcleos de población interconectados.

Es primordial, en primer lugar, realizar una descripción de los desplazamientos que se producen entre los distintos núcleos territoriales que componen la CAPV. Para ello resulta especialmente útil recurrir al *Estudio de la Movilidad de la Comunidad Autónoma Vasca* que el Gobierno Vasco realizó en 2011 (Gobierno Vasco, 2012), tras las ediciones anteriores de 2003 y 2007. En él se estima, a través de encuestas realizadas entre abril y junio de dicho año, los desplazamientos que se producen dentro de la CAPV, evaluando estos según su distribución modal, motivación y otros parámetros para un día laborable.

Como resultado el total de desplazamientos de las personas residentes en la CAPV en esa escala de tiempo fue de 6.200.572 desplazamientos, lo que equivale a 3,05 desplazamientos por habitante y día (Gobierno Vasco, 2012).

Estos desplazamientos se “desglosan” por movimientos entre comarcas<sup>51</sup>, tomando cada una de las que componen el territorio vasco como origen y destino, obteniéndose así todas las configuraciones posibles a una escala territorial intermedia entre los municipios y las provincias. La diferente densidad de desplazamientos se puede apreciar en la siguiente figura.

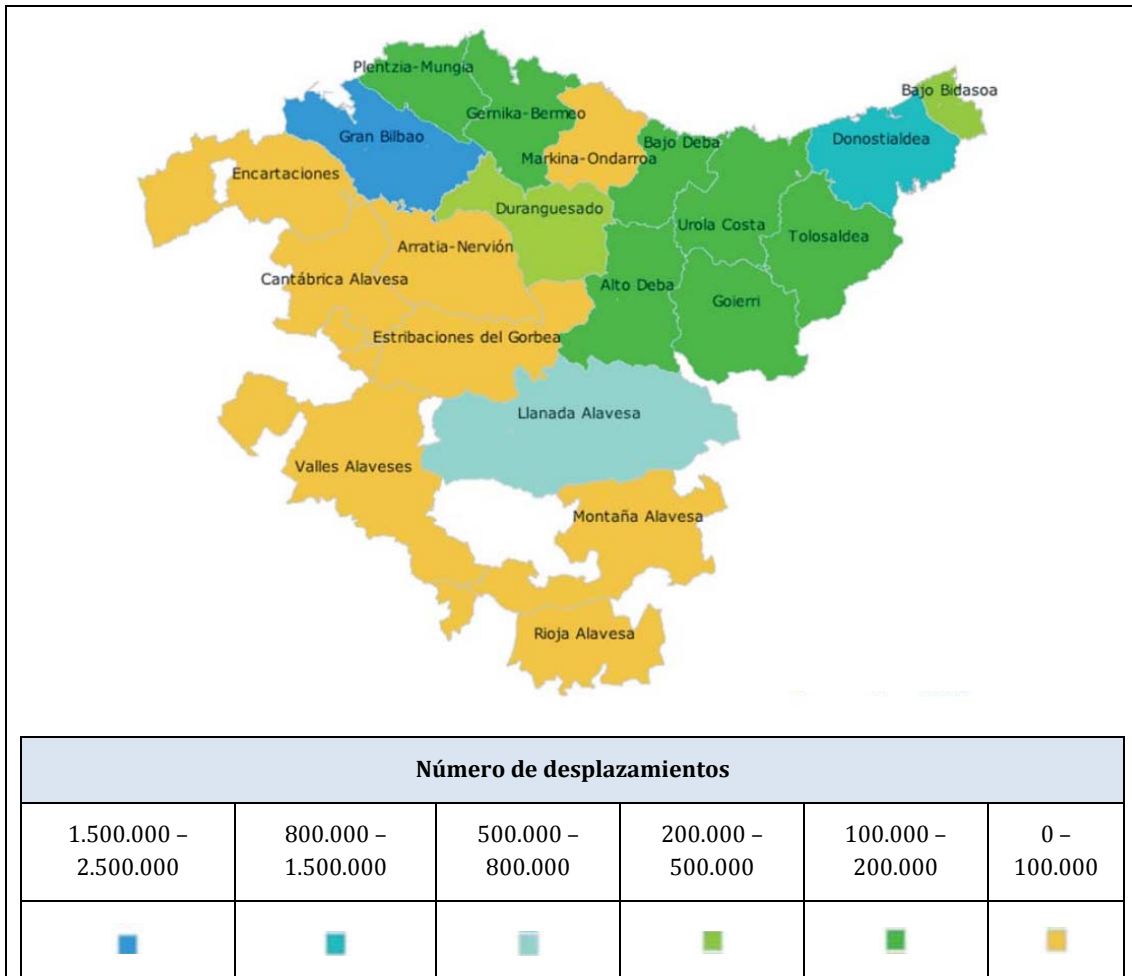
---

<sup>49</sup> Dicho de una persona: Que viaja en un vehículo, especialmente en avión, barco, tren, etc., sin pertenecer a la tripulación (DRAE, 2016).

<sup>50</sup> El Plan Director del Transporte Sostenible 2002-2012 define la movilidad como la *capacidad (activa) de desplazarse o moverse una persona o bien, utilizando medios mecánicos*. Otra posible definición del concepto de *movilidad* es la de la manera de tratar los problemas del transporte desde un marco integral, buscando hacer equitativo el uso de las estructuras viales por los diferentes actores, puesto que se considera un recurso escaso que nunca podrá crecer al ritmo que crece el parque de vehículos, facilitando así la cobertura de las nuevas necesidades de desplazamiento de las personas y de las mercancías, en una ciudad o región (Flechas, 2006).

<sup>51</sup> El mismo estudio define “comarca” como una agrupación de municipios por criterios geográficos y funcionales, considerando la relación oficial de comarcas que el Eustat estableció en 2005.

**FIGURA 2. Número de desplazamientos según comarca en un día laborable**

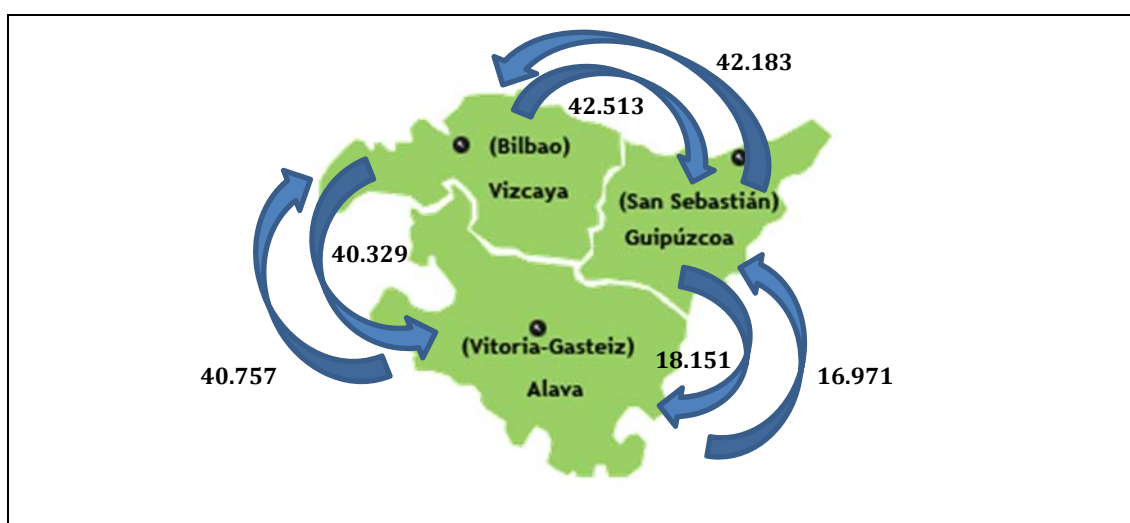


Fuente: (Gobierno Vasco, 2012).

Se aprecia claramente que son las tres áreas metropolitanas en torno a las capitales vascas, las que presentan mayor número de desplazamientos<sup>52</sup>, siendo de mayor a menor densidad: Gran Bilbao, Donostialdea y Llanada Alavesa. Cabe mencionar que en la cuantificación del estudio del Gobierno, se diferencian las tres capitales vascas de sus áreas metropolitanas, aportando de esta manera mayor detalle de los movimientos en las áreas con mayor densidad.

Por tanto, las áreas metropolitanas y las ciudades son las zonas más representativas del transporte por carretera en la CAPV, por lo que este informe centrará parte del análisis en los mismos. A nivel de provincias se repite el mismo orden, siendo Bizkaia la que más desplazamientos comparte con sus vecinas, como se ve en la siguiente figura.

<sup>52</sup> Dado que se trata de desplazamientos diarios, su concepto se corresponde con la idea de flujo, por lo que en ocasiones se utilizará esta palabra.

**FIGURA 3. Número de desplazamientos entre provincias en un día laborable**

Fuente: elaboración propia a partir de (red2000, 2015) y (Gobierno Vasco, 2012).

Estas cifras muestran un flujo de desplazamientos, tanto a nivel urbano como entre poblaciones, que parece ratificar la teoría pendular<sup>53</sup>, con desplazamientos de ida y regreso en el mismo día, siendo menos evidente entre Gipuzkoa y Álava.

Además, cabe señalar la posición estratégica de la CAPV por su ubicación junto a la frontera francesa, siendo una puerta de entrada y salida de la península ibérica para el resto de Europa, especialmente en lo que respecta al norte de España y Portugal<sup>54</sup>.

## 1.2. Parque de vehículos y matriculaciones

La siguiente cuestión es conocer qué medios de transporte posibilitan dichos desplazamientos. La siguiente tabla ofrece una imagen del parque de vehículos de la CAPV por provincia.

**TABLA 14. Parque de vehículos en la CAPV por provincias en 2014**

	Álava		Bizkaia		Gipuzkoa		CAPV	
	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%	Vehículos	%
<b>Turismos</b>	148.436	73,4	493.456	75,6	304.802	68,9	946.694	72,9
<b>Motocicletas</b>	14.074	7,0	48.239	7,4	52.588	11,9	114.901	8,9
<b>Camiones y furgonetas</b>	30.265	15,0	87.426	13,4	65.270	14,8	182.961	14,1
<b>Autobuses</b>	523	0,3	1.751	0,3	904	0,2	3.178	0,2
<b>Tractores industriales</b>	1.116	0,6	3.450	0,5	3.065	0,7	7.631	0,6
<b>Otros vehículos</b>	7.765	3,8	18.734	2,9	15.879	3,6	42.378	3,3
<b>Total</b>	202.179	100,0	653.056	100,0	442.508	100,0	1.297.743	100,0

Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno Vasco, 2015a).

Nota: Las motocicletas no incluyen los ciclomotores.

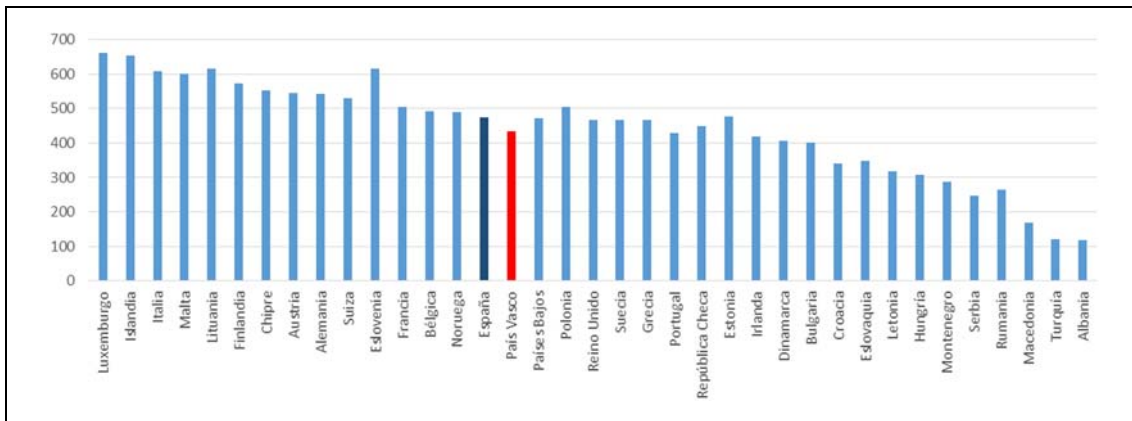
<sup>53</sup> Entiéndase por “movilidad pendular” aquella que se produce de manera repetitiva desde un origen concreto y dentro del transcurso de un día, de manera que su duración sea la del desplazamiento más la actividad realizada en el destino ya sea una actividad laboral, estudios o un abastecimiento (Espinosa, 1991).

<sup>54</sup> Por ello, el efecto frontera (que se presentará más adelante) tiene una importante influencia.

Por provincias, Bizkaia es el territorio con más vehículos, siendo los turismos mayoritarios (del orden del 75%) en las tres provincias.

La CAPV presenta como promedio un índice de motorización<sup>55</sup> de 434 vehículos por cada mil habitantes, algo inferior al de España y relativamente moderado en el entorno europeo. Este índice en Bizkaia y en Gipuzcoa, en el año 2014, fue de 429 turismos por cada mil habitantes, mientras que en Álava fue de 461. Estas cifras suponen niveles relativamente elevados<sup>56</sup>.

**GRÁFICO 6. Índice de motorización en el ámbito europeo en 2013 (turismos por cada mil habitantes)**



Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno Vasco, 2015a).

En el año 2014 el crecimiento fue del 0,4% en Bizkaia, del 0,2% en Gipuzkoa y del 0,5% en Álava, que se sitúa como la zona donde más ha crecido el número de vehículos.

Resulta de interés conocer la distribución de los turismos por combustible. A falta de datos desagregados para el parque actual, se presentan en la siguiente tabla las matriculaciones en los últimos años en la CAPV, que puede ser un indicativo de su futura evolución.

**TABLA 15. Matriculaciones por tipo de tecnología acumuladas entre 2007 y 2014 en la CAPV (turismos y todoterrenos)**

	Álava	Bizkaia	Gipuzkoa	CAPV
<b>Gasolina</b>	16.586	43.920	26.034	86.540
<b>Diésel</b>	441.97	103.934	62.289	210.420
<b>Eléctricos</b>	28	81	30	139
<b>Híbridos</b>	507	1.303	601	2.411
<b>Total</b>	61.318	149.238	88.954	299.510

Fuente: elaboración propia a partir de (SIT, 2015).

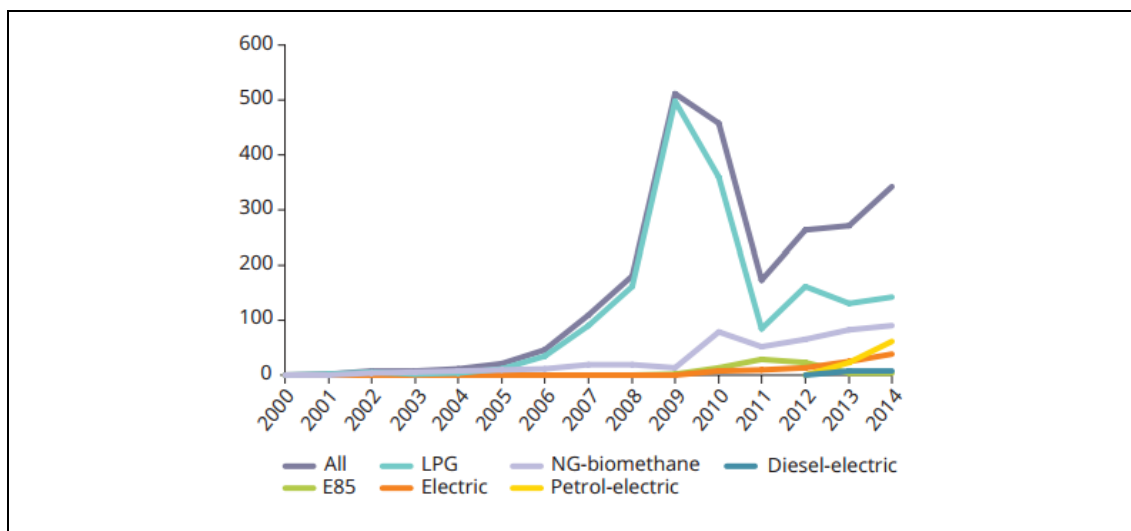
Como referencia, en la Unión Europea el porcentaje de vehículos con combustibles alternativos, que incluye los gases licuados del petróleo (GLP, LPG en el gráfico), vehículo eléctrico y gas natural, en 2014 alcanzó el 2,7% del total de las

<sup>55</sup> Turismos/1.000 habitantes.

<sup>56</sup> En base a ello, como se verá en el capítulo 5, se establece una hipótesis de cierta estabilidad del parque total de vehículos. Los datos de la CAPV son similares a los de España.

matriculaciones. Esta categoría incluía pocas unidades en el año 2000, pero superó el medio millón en 2009, para luego caer en 2010. Entre 2011 y 2014 se produjo un incremento del 58% (97% si se incluyen híbridos enchufables).

### GRÁFICO 7. Evolución de las matriculaciones de vehículos de combustibles alternativos en la Unión Europea (miles de vehículos)



Fuente: (EEA, 2015).

El máximo en matriculaciones, tanto generales como para GLP, que se observa en el gráfico anterior, se debe fundamentalmente a las caídas de las matriculaciones en Italia de los vehículos de GLP y de gas natural, mientras que en los demás países las ventas se han mantenido constantes. Por otro lado las ventas totales de vehículos nuevos desde 2008 a 2013 cayeron en Italia y España un 30%, que hay que atribuir a la caída de la renta media por hogar. Esto afectó no sólo a la caída de las matriculaciones, sino también al crecimiento de la compra de vehículos de combustibles alternativos.

Para la CAPV o España no se dispone de datos completos de matriculación de vehículos con combustibles alternativos, ya que muchos como los GLP o el gas natural comprimido (GNC) son resultado de transformaciones tras la compra del vehículo y hasta ahora no era obligatorio informar de la transformación. Las nuevas etiquetas de la DGT para los vehículos menos contaminantes promocionarán que se informe de la transformación para su expedición. De esta manera, se espera que haya una mejor identificación por tipos de vehículos.

### 1.3. Infraestructuras

En tercer lugar, se ha de considerar la infraestructura viaria necesaria para los flujos de vehículos. Cabe realizar para ello una comparativa del desarrollo de las vías de transporte de la CAPV con el entorno estatal y la situación en el ámbito europeo.

En el caso vasco, la línea política seguida en los últimos años ha buscado la reducción de las rutas de calzada única, a favor de las autovías y autopistas de gran capacidad. Se aprecia que el grado de desarrollo de la red de carreteras vascas es muy

importante, sobre todo si se considera la densidad de población en un territorio relativamente reducido.

**TABLA 16. Densidad de la red de carreteras en 2014**

Modalidad de carretera	CAPV		España	
	Longitud (km)	Densidad (m/km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Densidad (m/km <sup>2</sup> )
<b>Autopistas de peaje</b>	243	33,6	3.020	6,0
<b>Autopistas libres, autovías, carreteras doble calzada</b>	358	49,5	13.685	27,1
<b>Carreteras de calzada única</b>	3.568	493,2	149.579	296,4
<b>TOTAL</b>	4.169	576,3	166.284	329,5
	<b>Longitud UE-28 (km)</b>		<b>Densidad UE-28 (m/km<sup>2</sup>)</b>	
<b>Autopistas</b>	73.246		16,7	
<b>Carreteras principales o nacionales</b>	286.478		65,4	
<b>Carreteras secundarias o regionales</b>	1.546.479		353,0	
<b>TOTAL</b>	1.906.202		435,1	

Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno Vasco, 2015a).

Nota: Las carreteras de doble calzada son las carreteras que tienen una separación física entre calzadas, aunque esta separación consista en un bordillo montable. Reúne las características propias del desdoblamiento de una carretera convencional. Se entiende por “calzada” la parte de la carretera destinada al movimiento de los vehículos, midiéndose su anchura perpendicularmente al eje de la carretera (INE, 2016).

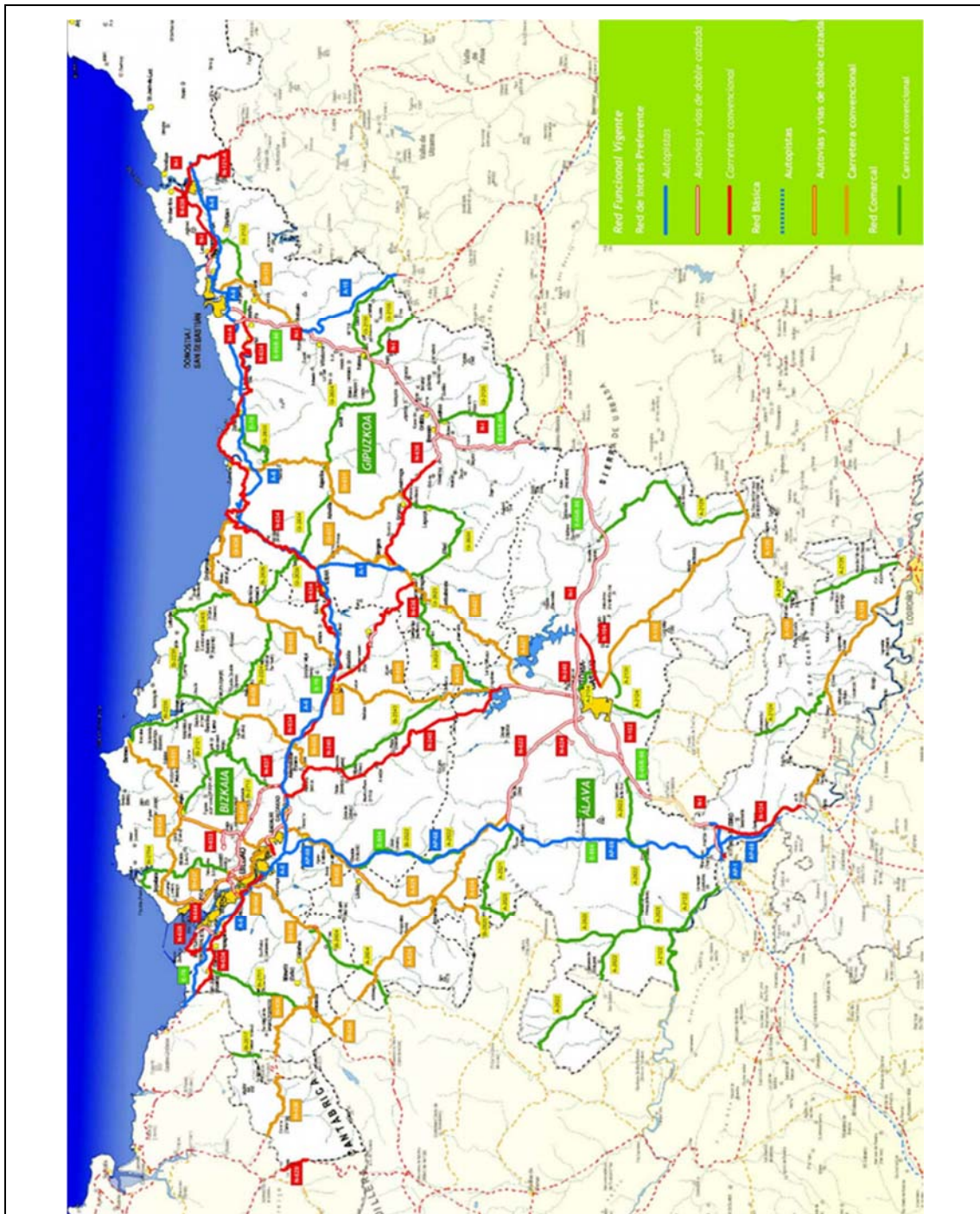
Dentro de esta red viaria se pueden distinguir cuatro grandes ejes. En primer lugar, el corredor cantábrico (A-8/AP-8), que conecta la CAPV con el resto de las CC.AA. del cantábrico y con Francia, uniendo así Bilbao con San Sebastián (ver figura 3). Por otro lado, la A-1 y la AP-1, comunica Vitoria y San Sebastián, y la CAPV con el eje del Ebro, Madrid y Francia. El tercer eje principal es la AP-68, que comunica Bilbao con Vitoria, incluyendo el eje del Ebro. El cuarto es el que comunica con Navarra y el área pirenaica, la A-10 y A-15 (la Caixa, 2010).








En cualquier caso, la complejidad de los distintos niveles dentro de la red viaria, al margen de los ejes más transitados, exige una clasificación que recoja todas sus dimensiones. En este sentido, el Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del Gobierno Vasco distingue tres tipos de redes de carácter funcional, debido a su influencia en los flujos existentes.

Por un lado el tipo de “Red de Interés Preferente” comprende los itinerarios de carácter internacional (incluyendo el acceso a Francia por pasos fronterizos), los de acceso a los puertos y aeropuertos de interés general, los itinerarios con elevados tráficos interautonómicos de largo recorrido, así como los itinerarios con un elevado volumen de vehículos pesados (o una carga apreciable de mercancías peligrosas), tanto interiores como exteriores al territorio (Gobierno Vasco, 2010).

Por otro lado, en la “Red Básica” se incluye itinerarios de importancia que estructuran la CAPV, pero sin incluirse en la Red de Interés Preferente. Finalmente, en la “Red Comarcal” se incorporan las carreteras sin tráfico elevado pero que facilitan la comunicación entre comarcas. Estas redes pueden verse en el siguiente mapa.

FIGURA 4. Red de carreteras de la CAPV



Red de Interés Preferente			Red Básica			Red Comarcal
Autopistas	Autovías y vías de doble calzada	Carretera convencional	Autopistas	Autovías y vías de doble calzada	Carretera convencional	Carretera convencional
						

Fuente: (Gobierno Vasco, 2010).

La combinación de los desplazamientos, el parque de vehículos y las infraestructuras disponibles, da paso al estudio de cómo la población (los pasajeros) emplea estos medios y, por tanto, de cuál es el comportamiento del transporte de pasajeros en su conjunto. En este sentido, el Plan Director del Transporte Sostenible 2002-2012 revela que en su periodo de vigencia se produjo un aumento de la movilidad media por habitante en la CAPV en los primeros años (+11% entre 2003 y 2007), menor en los últimos años (+1,9% entre 2007 y 2011), debido principalmente a la recesión económica.

La alta densidad urbana y las conexiones entre los grandes núcleos de población hacen que más del 40% de los desplazamientos anuales tengan como origen y/o destino, alguna de las tres capitales vascas (Gobierno Vasco, 2015b).

#### **1.4. Composición modal**

Además del automóvil, existen otros tipos de transporte de pasajeros, que no siendo objeto de este estudio conviene señalar.

En el País Vasco el transporte colectivo supone el 15% del total de desplazamientos. De estos, más de la mitad son en autobús, siendo a su vez el 53,2% de los mismos intramunicipales. La mayor parte tiene lugar en las tres capitales vascas, siendo del mismo orden en Bilbao y Donostia (25 y 21% respectivamente), y por debajo en Vitoria (12%). El resto de los desplazamientos (44%) colectivos se atribuyen casi en su totalidad al ferrocarril<sup>57</sup>.

De aquí en adelante, en este apartado se van a presentar datos para España dado que se ha encontrado información para la CAPV en lo que se refiere a la composición modal.

Así, a modo de ejemplo, en España<sup>58</sup>, cabe destacar el uso del autobús, por encima de la media europea<sup>59</sup>. Este fue el medio escogido por el 52,4% de los 1,3 millones de pasajeros que se desplazaron entre núcleos urbanos entre julio de 2013 y julio de 2014 (INE, 2013). Más del 90% de estos viajes fueron de media o corta distancia en 2013 (Barbadillo et al., 2014).

---

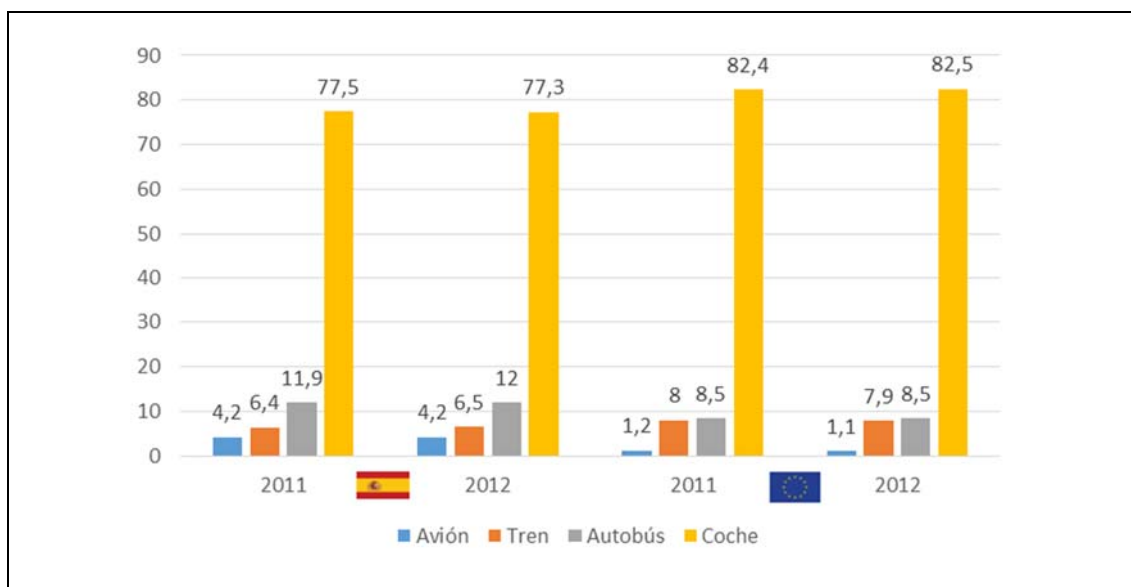
<sup>57</sup> El ferrocarril, en este punto, incluye Euskotren, Renfe, FEVE, tranvías y el metro de Bilbao.

<sup>58</sup> En este apartado se recogen datos relativos a España dado que no hay disponibilidad de ellos para la CAPV.

<sup>59</sup> Por lo que en el apartado 5.2. se hará una sucinta aproximación a una sustitución de vehículos privados por autobuses.



### GRÁFICO 8. Mix modal de pasajeros en 2011 y 2012 (Pas-km, %) en España y la Unión Europea

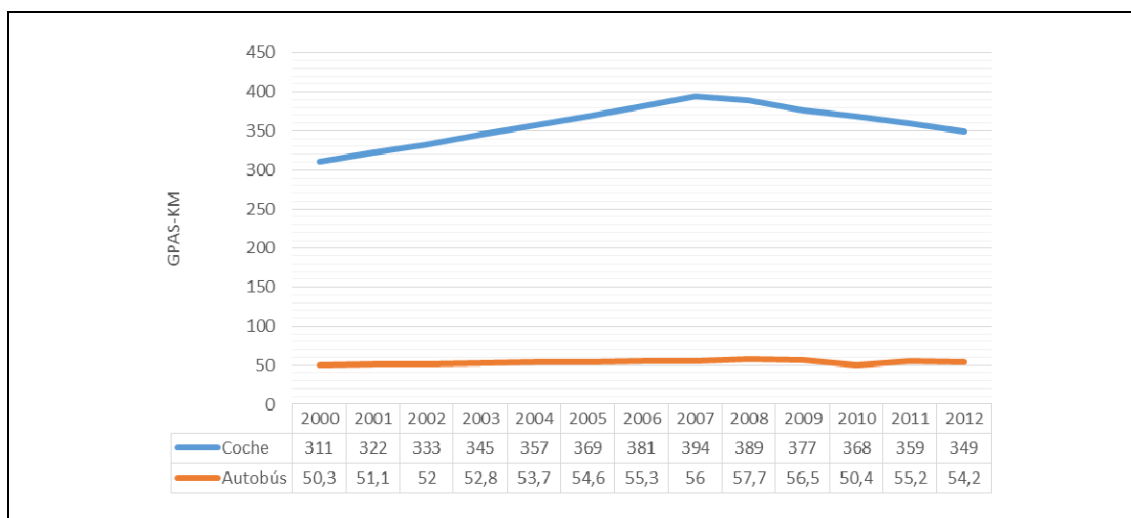


Fuente: elaboración propia a partir de (Fundación Repsol, 2014).

El tren, que también sale beneficiado respecto del avión, puede influir en el reparto modal en perjuicio del transporte por carretera. En el caso de España, se puede deducir que el mayor uso del avión respecto a la media europea podría ser debido a que es un país grande con distancias que se pueden cubrir con tráfico aéreo, mientras que otros países europeos son más pequeños.

En la península, el coche ha presentado ligeros descensos a favor del autobús, que se ha mantenido estable con ligeras fluctuaciones, en cuanto al transporte por carretera se refiere.

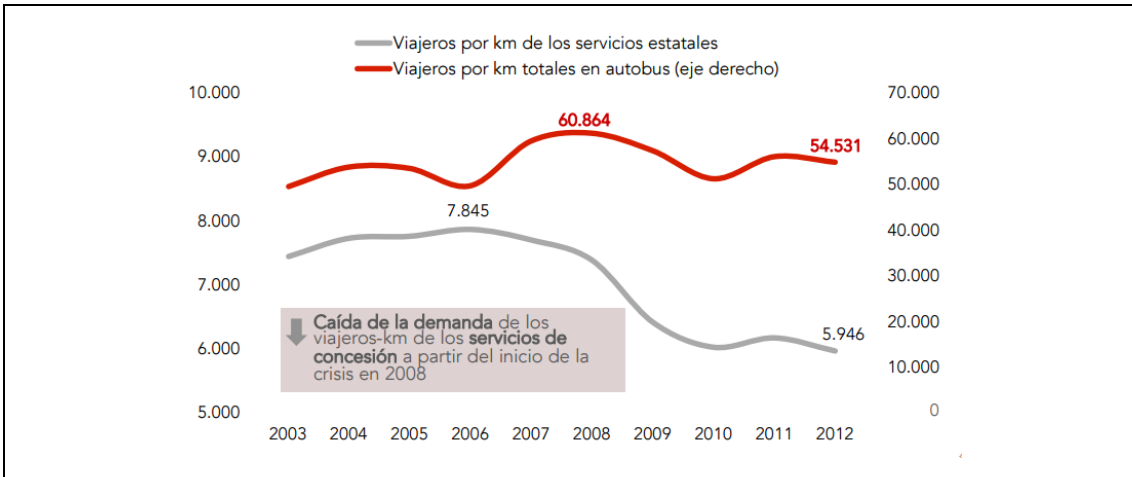
### GRÁFICO 9. Kilómetros recorridos por el conjunto de pasajeros para el coche y el autobús en España en el periodo 2000-2012 (Gpas-km)



Fuente: elaboración propia a partir de (Fundación Repsol, 2014).

En efecto, la demanda del transporte en autobús se ha mantenido relativamente estable si se compara con todas las modalidades (Barbadillo et al., 2014). En el siguiente gráfico se ve que a partir de 2008 la caída en la demanda se traduce en un desacoplamiento entre la evolución de los viajes totales en autobús y los que dependen de concesiones estatales,

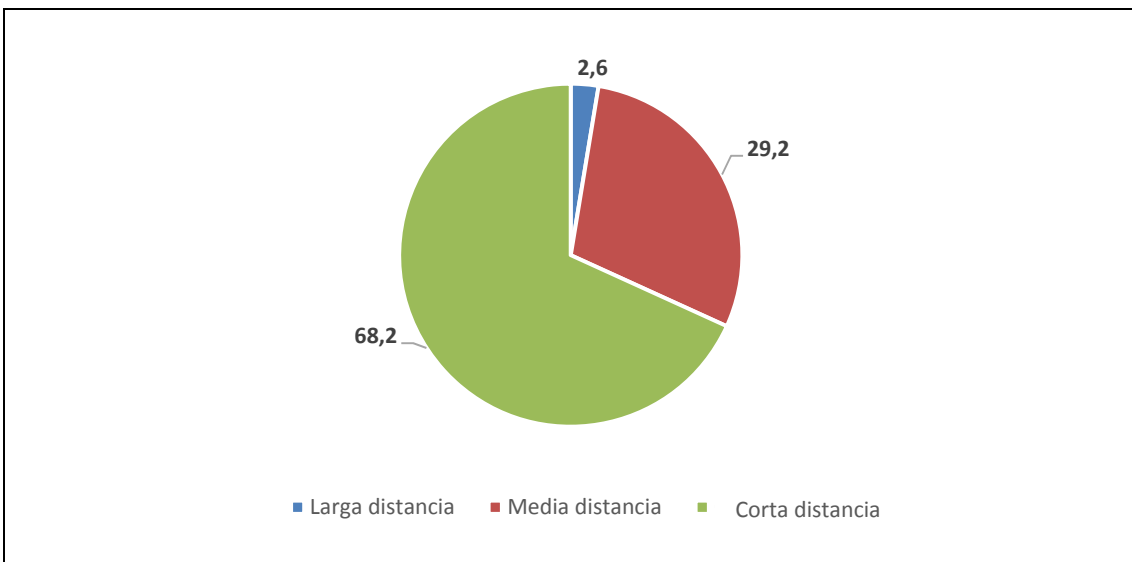
**GRÁFICO 10. Evolución del número de viajeros-km (millones de viajeros-km). Total autobús vs. Servicios de concesiones estatales (2003-2013)**



Fuente: (Barbadillo et al., 2014).

Esto se produce a raíz del traspaso de concesiones a las Comunidades Autónomas en cuanto a viajes de corta distancia, lo que demuestra la importancia del autobús para este tipo de recorridos. En el siguiente gráfico se presenta la frecuencia del uso de autobús en función de la distancia recorrida.

**GRÁFICO 11. Tipo de distancias recorridas en autobús en 2013 (%)**



Fuente: elaboración propia a partir de (INE, 2013).

Nota: Se entiende por media distancia, menos de 300 km entre núcleos urbanos, y por corta distancia, menos de 50 km siendo el desplazamiento dentro de una zona de influencia metropolitana.

## 2. CONSUMO ENERGÉTICO Y EMISIONES

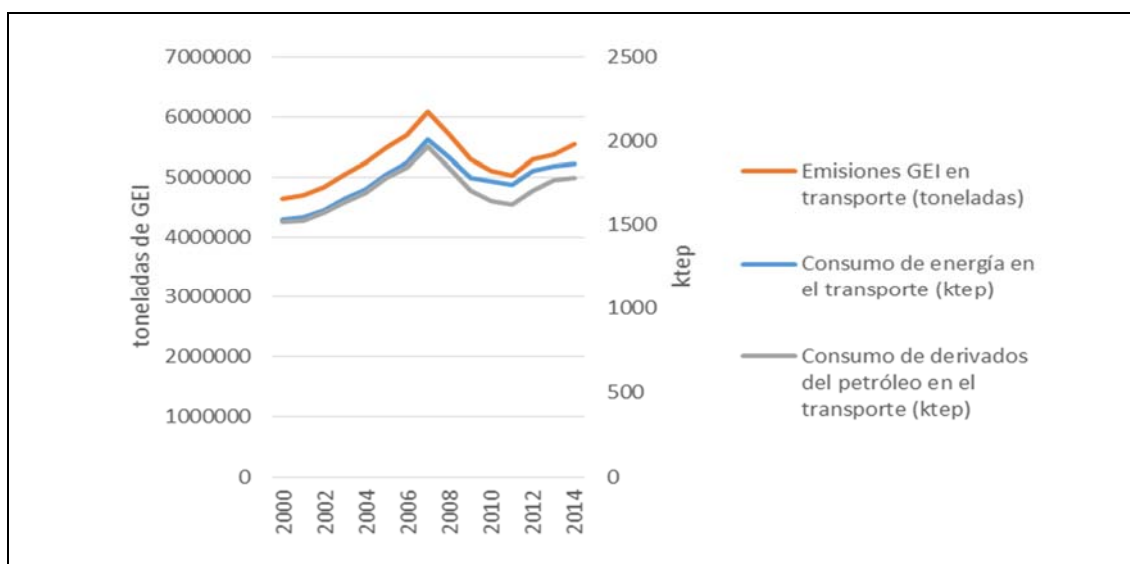
### 2.1. Consumo energético

El sector transporte tiene un peso fundamental en el consumo energético total, por lo que constituye un pilar básico de las políticas energéticas.

El consumo energético del transporte supuso en 2014, el 37,4% del consumo final de la CAPV (1.861 ktep), siendo el segundo en importancia, sólo superado por la industria, que alcanzó un 41,6% del total (EVE, 2015).

Además, el transporte es una excepción en las tendencias de consumo energético. Es decir, el consumo energético total descendió en 2014, en todos los sectores, siguiendo la tendencia de los años anteriores, salvo en el transporte, que creció el 0,8% (EVE, 2015).

#### GRÁFICO 12. Evolución de emisiones de GEI, energía y derivados del petróleo en el transporte (2000-2014)



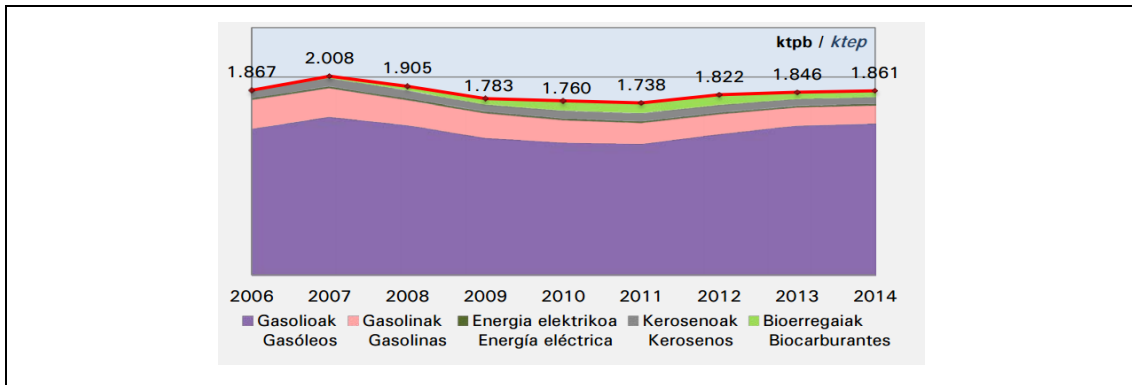
Fuente: (Larrea, 2016).

#### 2.1.1. Por tipo de combustible

En cuanto al tipo de combustible empleado, en el transporte los derivados del petróleo desempeñan un papel preponderante (95,5% del consumo en energía y de la factura energética del sector<sup>60</sup>). El transporte consume el 86,3% de todos los derivados de petróleo consumidos en la CAPV, mientras que la industria, sólo supone el 7%. Como se puede ver, los productos petrolíferos han dominado y dominan en el sector del transporte.

<sup>60</sup> En la industria, la electricidad supone el 60,2% de la factura y el gas natural el 37,3%.

### GRÁFICO 13. Evolución del consumo de energía en el transporte



Fuente: (EVE, 2015).

Ello se debe entre otros, a las ventajas que aportan en autonomía las tecnologías de los vehículos disponibles y al precio de los mismos respecto a los de los combustibles alternativos, cuyo desarrollo se ha iniciado recientemente. Esta situación es común en todos los países y teniendo en cuenta las matriculaciones de nuevos vehículos, se podría decir que los derivados del petróleo seguirán siendo mayoritarios en el sector del transporte, al menos durante los próximos 20 años<sup>61</sup>.

Dentro de los derivados del petróleo existe, como se puede ver en la tabla siguiente, una importante diferencia entre el gasóleo, principal combustible utilizado, y el resto.

**TABLA 17. Tipos de derivados del petróleo consumidos en 2014 en la CAPV**

Gasóleo	Gasolinas	Gasóleos B y C	Querosenos	GLP	Fuelóleos	Otros
74%	8,7%	6,6%	3,2%	2,1%	0,4%	5,1%

Fuente: elaboración propia a partir de (EVE, 2015).

Nota 1: Se trata de consumo intraterritorial y no incluye las entradas y salidas de la CAPV.

Nota 2: La mayoría del consumo de querosenos se produce en aeropuertos. Los aviones, aunque reposten en la CAPV, realizan siempre trayectos hacia y desde el exterior del territorio. Por tanto, no se trata de un consumo propio de la CAPV y la estadística europea no lo suele recoger. Lo mismo ocurre con el *bunkering* internacional.

Nota 3: El gasóleo y la gasolina incluyen biocombustibles, ya que las mezclas se realizan antes de llegar a los puntos de suministro. En el caso del gasóleo se realiza en la refinería; en el caso de la gasolina, la mezcla la realiza CLH, ya que el etanol absorbe agua en las tuberías y puede afectar a otros productos. La gasolina lleva en torno a un 6,4% de biocombustibles y el gasóleo en torno a un 4,1% (CORES, 2015b).

La factura de la energía para el consumidor final disminuyó un 4,5% en 2014 y supuso 5.866 millones de euros. De este coste, el 47,6% correspondió al sector del transporte, el 24,3% a la industria, el 15,1% al sector residencial, el 11,6% al de servicios y el 1,4% al primario.

La factura de los derivados de petróleo es la más alta en todos los territorios, representando el 57,3% en Álava, el 48,9% en Gipuzkoa y el 43% en Bizkaia<sup>62</sup>.

<sup>61</sup> A este respecto, los escenarios que se analizan en el capítulo 5 apuntan en esa dirección.

<sup>62</sup> Estas diferencias provinciales no parecen lógicas, por lo que se puede ver con claridad el efecto frontera que se menciona más adelante.

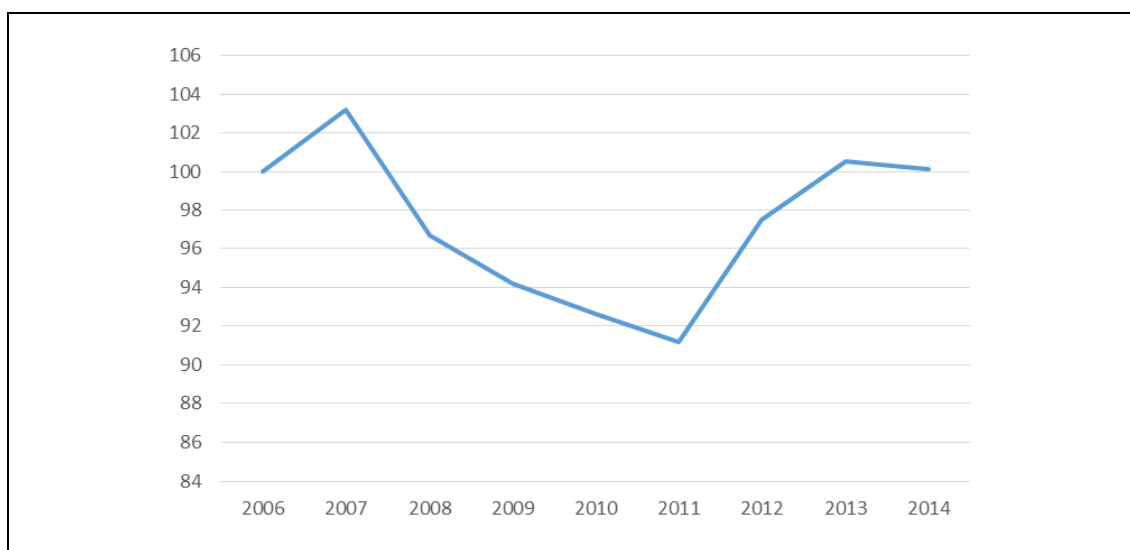
**TABLA 18. Balance energético del transporte de la CAPV en 2014 (ktep)**

	Carbón y derivados	Petróleo y derivados	Gas natural	Energías derivadas	Energías renovables	Energía eléctrica	TOTAL
<b>Ferrocarril</b>	0	0	0	0	0	15	15
<b>Carretera</b>	0	1.712	0	0	65	0	1.777
<b>Aéreo</b>	0	67	0	0	0	0	67
<b>Navegación</b>	0	3	0	0	0	0	3
<b>TOTAL TRANSPORTE</b>	0	1.783	0	0	65	15	1.862

Fuente: elaboración propia a partir de (EVE, 2015).

Nota: Muchos datos de transporte no se desglosan en las fuentes estadísticas, de manera que hay consumos en carretera, como el gas natural o la energía eléctrica que se han contabilizado dentro de otros, y por ello aparecen como 0.

La intensidad energética en el transporte, medida en términos de consumo de energía (en tep) por unidad de PIB total, se incrementó en 0,4 puntos en el año 2014, apreciándose fuertes variaciones desde la década pasada, y siendo a partir de 2011 cuando se produjo un punto de inflexión (EVE, 2015).

**GRÁFICO 14. Evolución de la intensidad energética en el transporte de la CAPV (índice 2006 = 100)**

Fuente: elaboración propia a partir de (EVE, 2015).

Nota: La intensidad energética sigue una evolución muy similar a la del PIB. Sin embargo, si se atiende sólo al transporte de pasajeros, este lleva cierto retraso respecto al PIB.

### 2.1.2. Por territorio

En la CAPV, el transporte es el segundo sector consumidor de energía por detrás de la industria. Sin embargo, esto no sucede así en Álava, donde es el primer sector consumidor. Por provincias, Gipuzkoa es el primer territorio consumidor de energía en el transporte, seguido de Bizkaia.

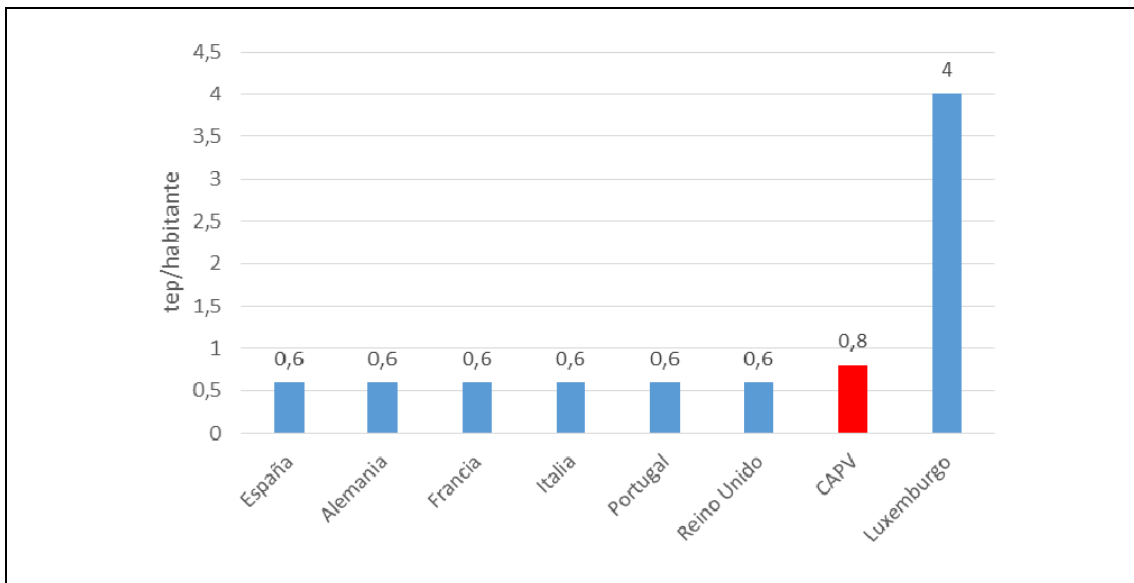
**TABLA 19. Diferencias entre provincias en cuanto al consumo energético del transporte en 2014**

	Álava	Bizkaia	Gipuzkoa	CAPV
<b>Participación en el consumo del transporte en CAPV</b>	25,2%	37,2%	37,6%	100%
<b>Participación del gasóleo en el consumo de combustibles para el transporte dentro de cada provincia</b>	88%	74%	86%	82%
<b>Posición del transporte entre los sectores consumidores dentro de cada provincia</b>	1ª (46,2%)	2ª (32,8%)	2ª (37,8%)	2ª (37,4%)

Fuente: elaboración propia a partir de (EVE, 2015).

En el caso de la CAPV resulta interesante mencionar, a modo de contextualización, el “efecto frontera”. Mientras los países desarrollados alcanzan cotas similares entre sí de consumo por habitante, hay algunos en los que esta cifra es mucho mayor debido a su situación geográfica y al precio de los combustibles, lo que se traduce en que hay numerosos vehículos extranjeros que repostan y multiplican este indicador<sup>63</sup>. Este efecto frontera que se observa en la CAPV, resulta más patente en Luxemburgo, donde existe una gran diferencia de consumo de combustibles por habitante en los diferentes países del gráfico siguiente.

**GRÁFICO 15. Consumo de combustibles de carretera por habitante en distintos países**

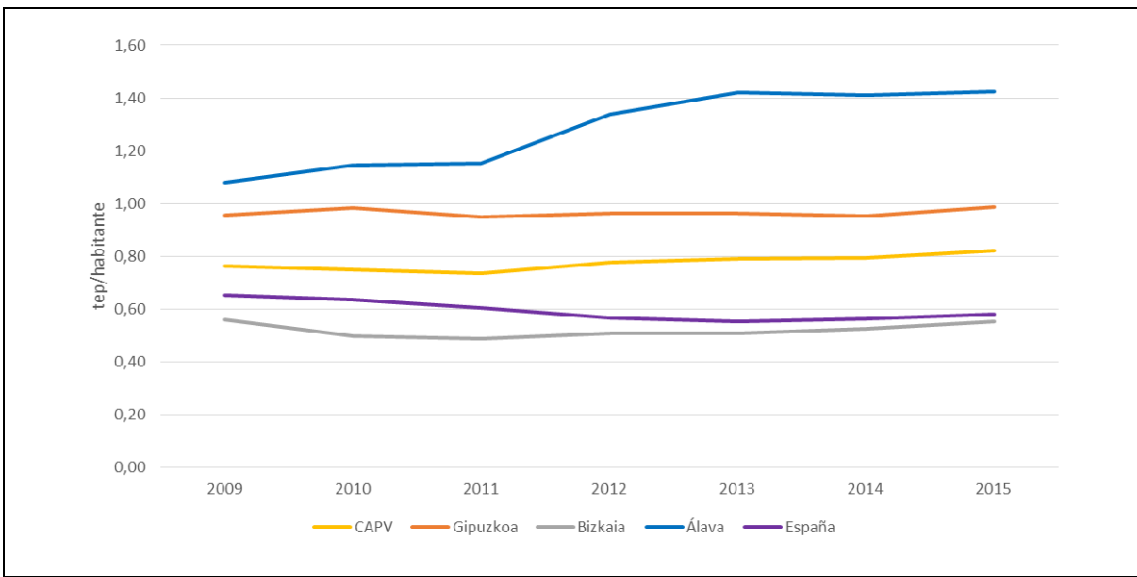


Fuente: elaboración propia a partir de (Fundación Repsol, 2015).

Analizando dicho efecto frontera según el consumo interior de la CAPV por habitante en las provincias, se ve que son Álava y Gipuzkoa las zonas donde este fenómeno tiene lugar (mientras que Bizkaia apenas sobresale de la media española).

<sup>63</sup> Especialmente notable el caso de Luxemburgo que presenta valores seis veces superior a los del resto.

**GRÁFICO 16. Consumo de combustibles de carretera por habitante en la CAPV y en España**

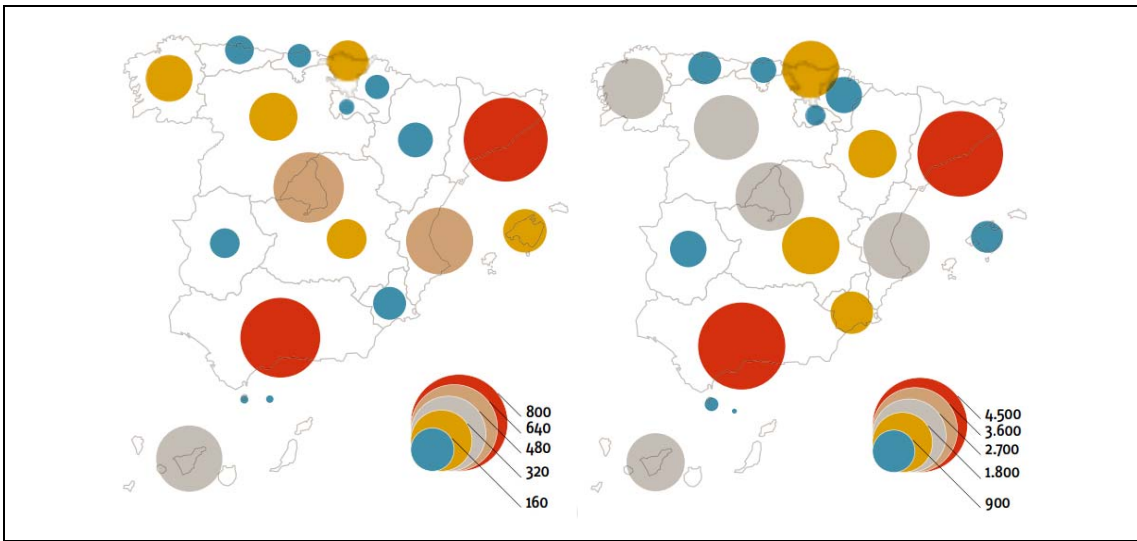


Fuente: elaboración propia a partir de (CORES, 2015c).

Las rutas que atraviesan Álava y Gipuzkoa provocan que la CAPV influya con las medidas que se tomen en la parte del tráfico que le es propio. Así, una circunstancia que puede explicar este fenómeno es la diferencia de precios de combustibles entre Comunidades Autónomas. Por ejemplo, la introducción del céntimo sanitario produjo en su día fluctuaciones que agravaban esta incertidumbre.

En la CAPV se dan condiciones similares, ya que su posición junto a Francia, como se ha señalado en el capítulo anterior, lo convierte en puerta de entrada y salida para toda la península occidental y por tanto recibe tráfico de varias partes de España y Francia.

**FIGURA 5. Consumo de gasolinas (izquierda) y de gasóleos (derecha) por CCAA en 2014 (miles de toneladas)**



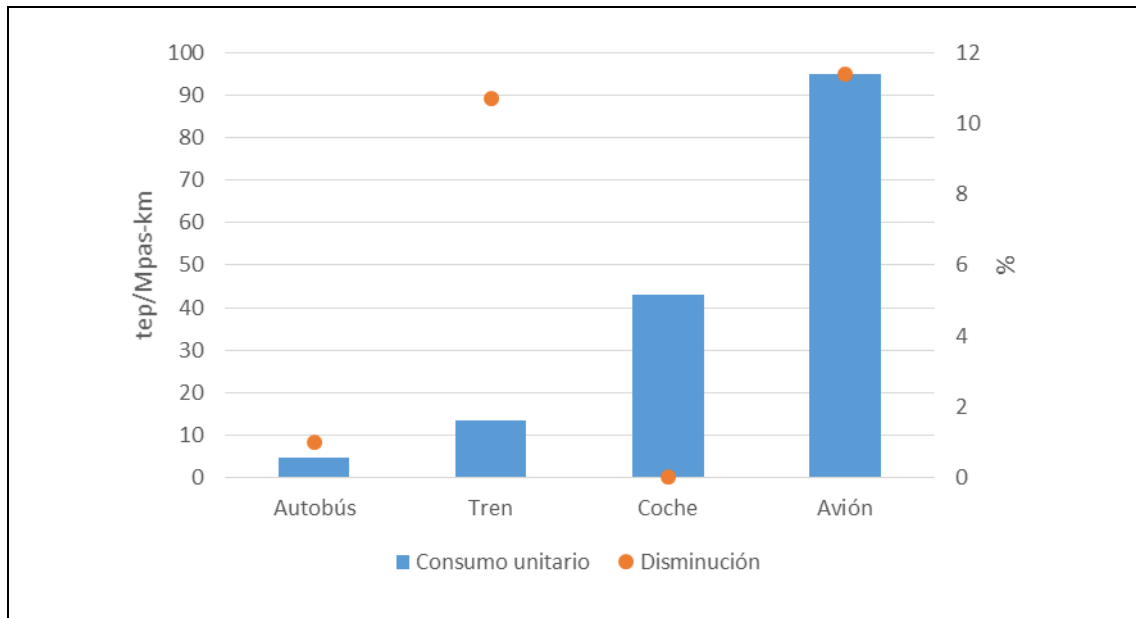
Fuente: (Cores, 2015a).

En comparación con el resto de Comunidades Autónomas (CCAA), se pueden apreciar diferentes niveles de consumo con un reparto heterogéneo. Se puede observar en los siguientes mapas, que la CAPV se halla en octava posición en consumo de gasóleo, junto con Aragón y Castilla-La Mancha, siendo Cataluña y Andalucía las regiones líderes. En cuanto a la gasolina la CAPV se coloca en una posición similar respecto al resto de CCAA.

### 2.1.3. Por medio de transporte<sup>64</sup>

La evolución de la eficiencia del consumo, expresada en términos de consumo unitario<sup>65</sup>, se puede apreciar en el gráfico siguiente. En él, se comparan los resultados para dos grandes medios de transporte de pasajeros, tren y avión, así como para el coche y el autobús. De acuerdo con los datos, el avión y el coche serían los medios de transporte más ineficientes.

**GRÁFICO 17. Comparativa del consumo unitario medio en España por modo de transporte en 2012 (tep/Mpas-km) y su disminución respecto a 2011 (%)**



Fuente: elaboración propia a partir de (Fundación Repsol, 2014).

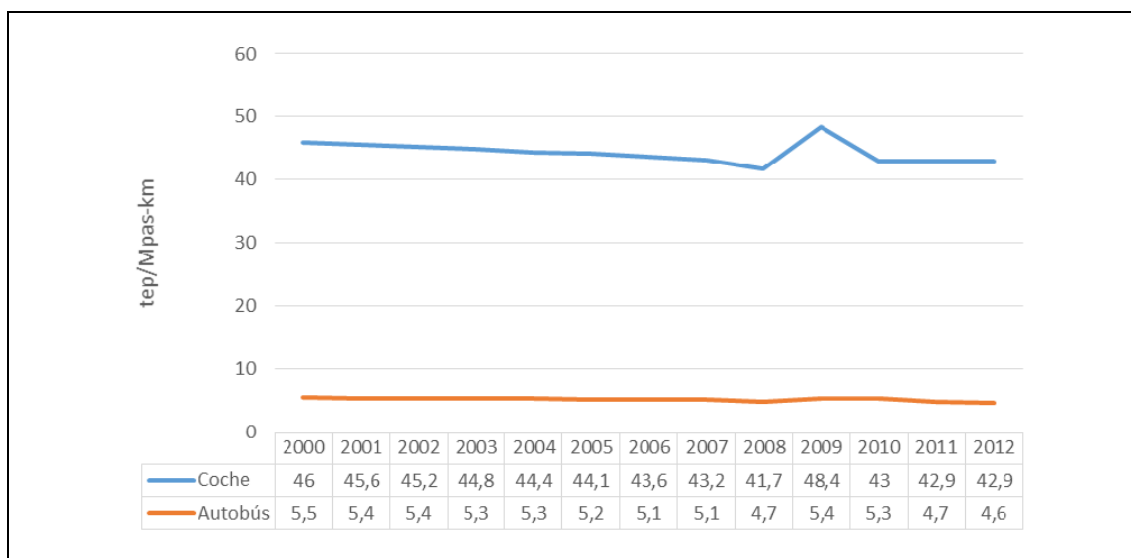
A continuación se muestra la evolución del coste unitario medio para el coche y el autobús en España. En el caso del autobús, su eficiencia por pasajero-km viene determinada no sólo por la edad de la flota y la motorización, sino también tasa de ocupación media o aprovechamiento.

<sup>64</sup> La mayoría de los datos se refieren a España, ante la dificultad de encontrar datos similares para la CAPV.

<sup>65</sup> Se toma la unidad de energía consumida vista en el gráfico anterior en cada medio (tep), en función del número de pasajeros (millones en este caso) y los kilómetros recorridos por estos (tep/Mpas-km).



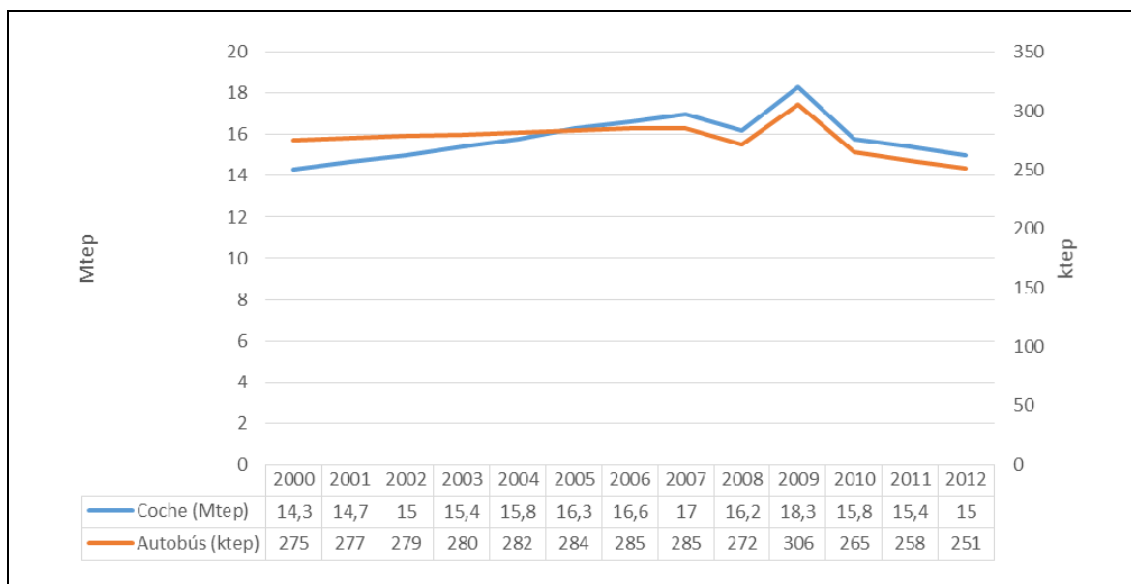
**GRÁFICO 18. Consumo unitario medio para el coche y el autobús en España en el periodo 2000-2012 (tep/Mpas-km)**



Fuente: elaboración propia a partir de (Fundación Repsol, 2014).

Si se evalúa cómo es el consumo en el coche y el autobús en particular, se puede apreciar una disminución de este tanto en el coche como en el autobús a nivel de España. El autobús representa un 1,65% del consumo energético frente al 98,35% del coche.

**GRÁFICO 19. Consumo para el coche y el autobús en España (2000-2012)**



Fuente: elaboración propia a partir de (Fundación Repsol, 2014).

Nota: Los datos relativos al consumo del coche, se lee en el eje de la izquierda y el del transporte en la derecha.

Cabe señalar que, debido a la alta densidad de tráfico urbano, los datos de la CAPV se desvían de la media nacional.

#### 2.1.4. Otros

Junto con el *mix* modal de pasajeros, otros factores indicativos para estos resultados son, en el caso del coche, la edad de la flota (porcentaje de automóviles con más de diez años), el tipo de motorización (el porcentaje de uso de diésel, así como la cilindrada media por el otro), el índice saturación de las carreteras, la velocidad media y el tráfico (vehículos por día); siendo estos relativos a la eficiencia del vehículo. Por otro lado, hay que considerar el uso de la capacidad, entendiéndose el tamaño del parque (coches per cápita) y la tasa de ocupación por vehículo (Fundación Repsol, 2014).

De esta manera, el vehículo en sí, la forma de conducirlo y el espacio por el que se conduce pueden alterar el consumo energético respecto al que se certifica, por lo que normalmente el consumo real es mayor que el certificado.

Debido a esta potencial diferencia, la estructura urbanística supone un elemento importante a la hora de evaluar la eficiencia en el transporte. Por ejemplo, las constantes detenciones del vehículo implican pérdidas energéticas del orden del 5%. Esto afecta especialmente a los vehículos más antiguos; los nuevos, en especial los matriculados a partir de 2010, cuyo sistema *start/stop* detiene el motor en las paradas, lo que junto con la recuperación en la frenada, puede llegar a suponer hasta un 5% del tráfico urbano. Este sistema produce un encarecimiento del vehículo despreciable respecto a la reducción del combustible empleado.

Se genera de esta manera una situación de cierta incertidumbre en la cuantificación real del consumo energético vasco, tendiendo a sobredimensionarlo. Esto tiene más probabilidades de ocurrir en la evaluación del consumo que se atribuye al tráfico urbano, debido a que el tráfico en carreteras y autopistas es más fácil de cuantificar.

Es decir, si por un lado se calcula el consumo en vías no urbanas, y por otro se tiene el consumo total del territorio, teóricamente la diferencia es el consumo en el entorno urbano. Sin embargo sería necesario eliminar de esa diferencia el combustible vendido en el territorio pero que no se ha traducido en un consumo relacionado con el recorrido interior.

## 2.2. Emisiones

La elevada dependencia del petróleo en el transporte que se ha visto, supone un reto a superar<sup>66</sup>, pero además, la “dieselización” del parque<sup>67</sup> y el aumento del tráfico, han generado un aumento de la contaminación local al no disponer los vehículos diésel de tratamiento de gases de escape, lo que puede derivar en efectos sobre la

<sup>66</sup> En los estudios sociológicos realizados para la Estrategia de Cambio Climático 2050 de la CAPV se señala que entre la población vasca la opinión mayoritaria (60%) es que se debe cambiar el consumo actual de energía buscando nuevas fuentes, siendo la actual dependencia del petróleo para el 51% “grave” y para el 23% “muy grave” (Gobierno Vasco, 2015b).

<sup>67</sup> En 2002 el 32% de los turismos eran de gasóleo, mientras que en la actualidad están en el entorno del 55%, porcentaje similar al de Italia y Francia (Olaizola, 2017).

salud debido a la exposición (Mora, 2015). Esto no es así para los vehículos actuales desde la entrada en vigor de la regulación Euro 6<sup>68</sup>.

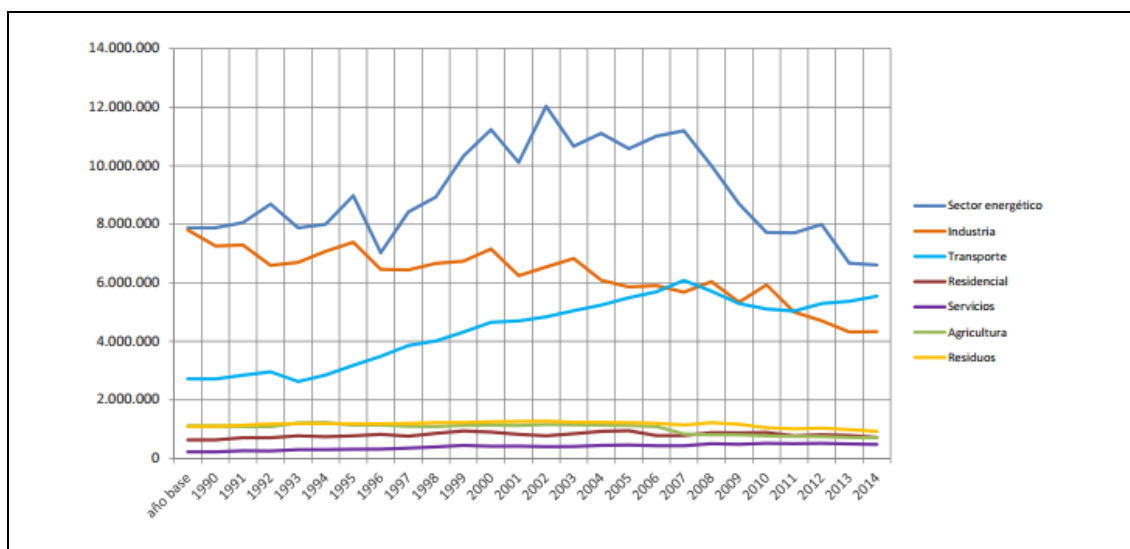
A la hora de evaluar las emisiones de un país o región, la primera diferenciación que se ha de hacer es entre aquellas que intervienen en el cambio climático (gases de efecto invernadero (GEI<sup>69</sup>), principalmente CO<sub>2</sub>, y por otro lado aquellas que pueden tener un efecto sobre la salud de los ciudadanos cuando estos se ven expuestos a las mismas (óxidos de azufre [SO<sub>x</sub>], óxidos de nitrógeno [NO<sub>x</sub>], y partículas o PM).

### 2.2.1. Emisiones de gases de efecto invernadero

Las emisiones de GEI de la CAPV representaron el 0,5% de las del conjunto de la UE en 2013, siendo dentro de España un 5,9% (MAGRAMA, 2016a). Se ha producido, desde 1990, una reducción de estas desde los 20,9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2eq</sub>) (Gobierno Vasco, 2015b) a 19,3 en 2014 (Ihobe, 2015). Esto se ha debido a la gran influencia de los sectores industrial (reducción de emisiones del 45% en este periodo) y de la energía (reducción del 15%).

Los sectores residencial y servicios, con menor peso en las emisiones totales, las han aumentado igualmente, pero de 0,6 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> a 0,8 el primero, y el segundo de 0,2 a 0,5. El transporte es, por tanto, el sector en el que las medidas de reducción a adoptar pueden tener mayor impacto

**GRÁFICO 20. Evolución sectorial de las emisiones de CO<sub>2eq</sub> de la CAPV entre 1990 y 2014 (toneladas)**



Fuente: (Ihobe, 2015).

Nota 1: En la CAPV se ha pasado de una industria de tipo primario, como la siderurgia, a otra con mayor valor añadido y transformadora. Parte de la reducción de emisiones se explica por este cambio estructural.

Nota 2: La última caída en el transporte se debe al PIB de esos años, un fenómeno global para todos los sectores.

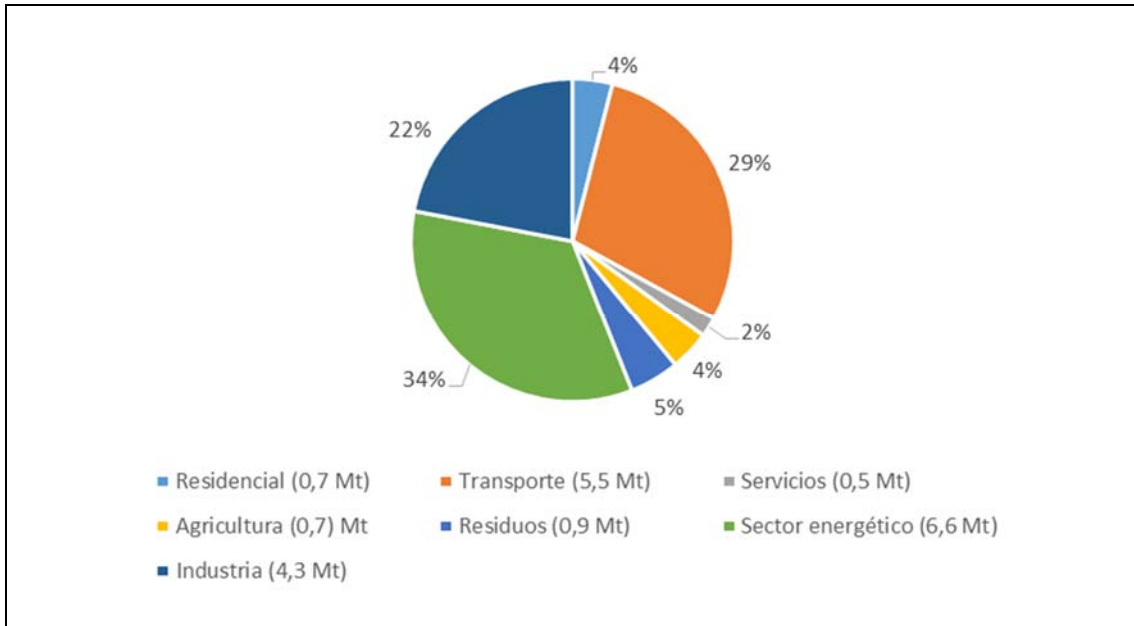
Nota 3: Las emisiones del sector energético son mayores al no incluirse aquí las de la electricidad importada.

<sup>68</sup> Euro VI si se trata de vehículos pesados.

<sup>69</sup> Generalmente medio en términos de CO<sub>2eq</sub>.

El transporte supuso, en la CAPV en el año 2014, el 29% de las emisiones de GEI de la CAPV.

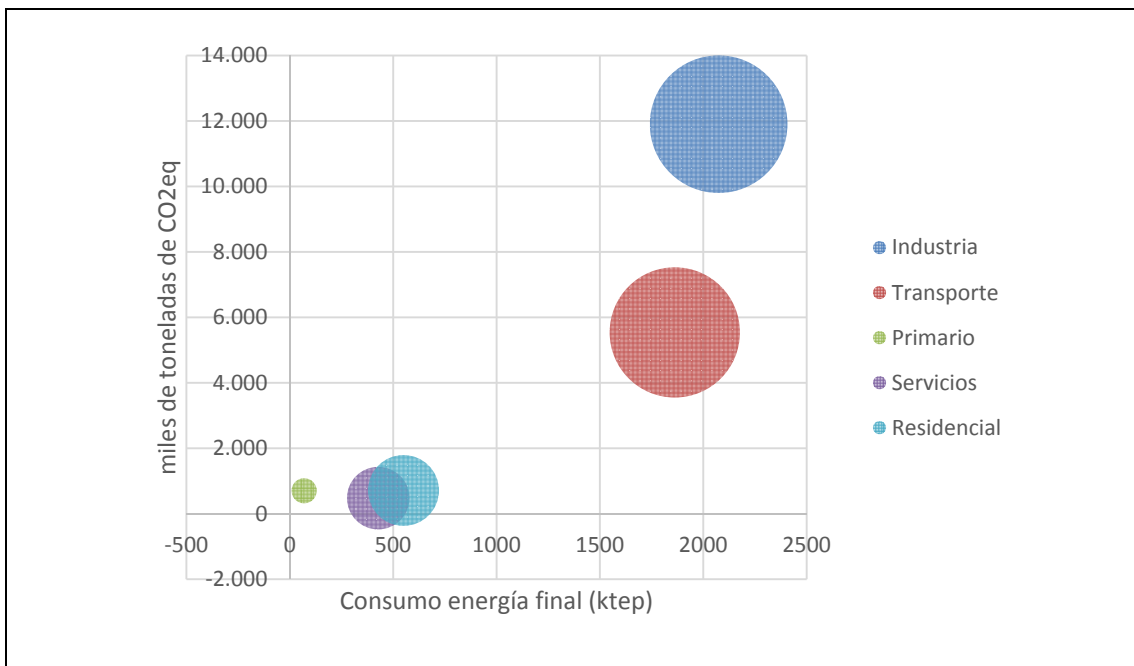
**GRÁFICO 21. Emisiones de CO<sub>2eq</sub> en la CAPV en 2014**



Fuente: elaboración propia a partir de (Ihobe, 2015).

Así, en la distribución de emisiones de GEI por sectores de la CAPV el sector del transporte, con 5,5 millones de toneladas en 2014, es el más elevado tras el energético (6,6 millones de toneladas). La relación de consumo energético y emisiones de CO<sub>2eq</sub> puede verse en el siguiente gráfico.

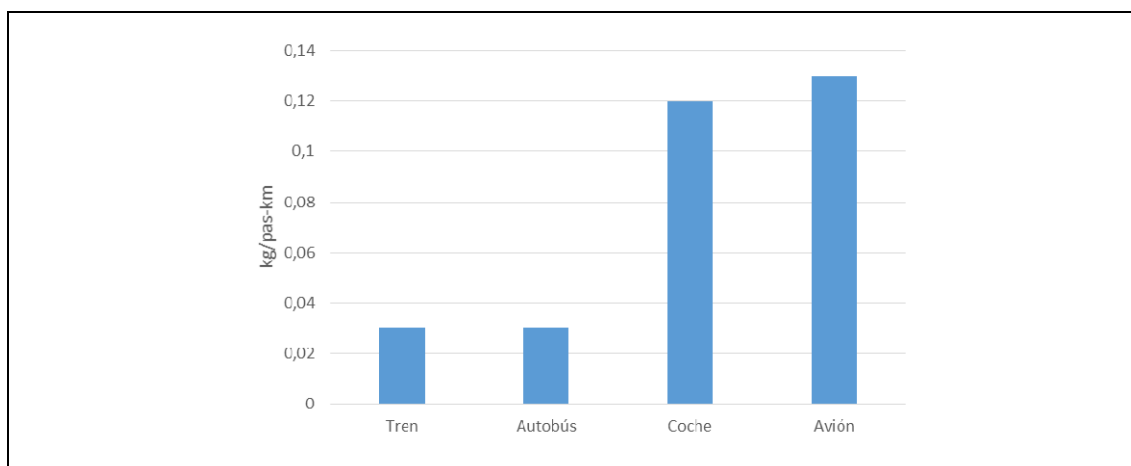
**GRÁFICO 22. Consumo de energía final y emisiones de CO<sub>2eq</sub> en la CAPV por sectores (2014)**



Fuente: (Larrea, 2016).

La media de emisiones en el transporte en España se situó en 0,13 kg/pas-km (Barbadillo, et al., 2014)<sup>70</sup>. Como se ve en el siguiente gráfico, las medias más bajas de emisiones de CO<sub>2</sub> se dan en el autobús (así como en el tren), mientras que en el coche y avión se dan niveles 4 y 4,3 veces superiores respectivamente a las del autobús.

**GRÁFICO 23. Comparativa en España por medios de transporte de emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/pas-km) en 2014**



Fuente: elaboración propia a partir de (Barbadillo et al., 2014).

Atendiendo a las emisiones de CO<sub>2eq</sub> para analizar el conjunto de GEI emitidos, se observa que el autobús se ve favorecido, al ser sus emisiones un 9% menores que las del tren, 3,2 veces menores que las del coche.

Sin embargo, su efecto se ha limitado por el incremento de las del sector del transporte, que han aumentado en un 97%, de 2,7 millones de toneladas de CO<sub>2eq</sub> a 5,4 (Gobierno Vasco, 2015b).

### 2.2.2. Emisiones contaminantes

El transporte por carretera es, dentro del sector transporte, el mayor contribuyente en emisiones de NO<sub>x</sub> y partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), responsable del 58% y el 73% del total respectivamente, mientras que en términos de SO<sub>x</sub> es la navegación la que más contribuye (AIE, 2016a).

Sin embargo, a la hora de evaluar las emisiones, el impacto de estas varía según la cercanía a los focos de exposición. Así, mientras el transporte pesado por carretera<sup>71</sup> presenta emisiones mucho más altas que los vehículos ligeros, la diferencia proporcional entre ellos a la hora de evaluar sus efectos sobre la salud es menor, ya que los vehículos ligeros se conducen más y son más numerosos en los entornos urbanos (AIE, 2016a).

<sup>70</sup> No se dispone de datos para la CAPV.

<sup>71</sup> Por sí sólo aporta el 40% del NO<sub>x</sub> del sector transporte y el 50% de PM<sub>2,5</sub> (AIE, 2016a).

Teniendo en cuenta que la CAPV cumple los niveles europeos de calidad de aire y además las emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas no son exclusivas del sector transporte, resulta necesario atender a la evolución y control de las mismas.

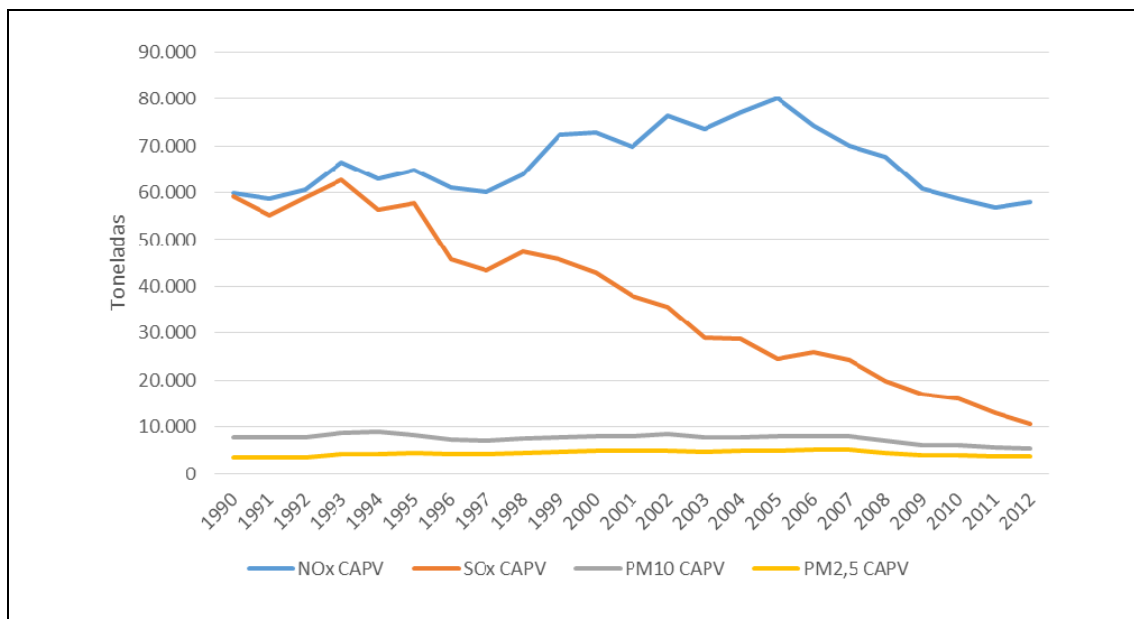
Se puede observar su evolución desde 1990, destacando la clara disminución de emisiones de SO<sub>x</sub>, como consecuencia de las regulaciones europeas de reducción del contenido de azufre en los combustibles.

Es interesante observar que las emisiones de óxidos de nitrógeno son las que desde el año 1990 hasta 2006 aumentan, mientras que el resto se mantiene o disminuye acusadamente.

A partir de ese año las emisiones de óxidos de nitrógeno disminuyen pero en cualquier caso en el año 2013 se sitúan en 53.000 toneladas, lo que significa que en un periodo de casi 25 años sólo han disminuido del orden del 10%. Esto pone de relieve la dificultad de reducción de los óxidos de nitrógeno y la importancia que tienen los modos de transporte que no generan estas emisiones<sup>72</sup>.

Cabe distinguir entre PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, en función de su diámetro en micras. Su impacto con la exposición se incrementa, cuanto menores son estas, pero las concentraciones de PM<sub>10</sub> han sido históricamente más sencillas de medir de manera que existen más datos al respecto (AIE, 2016a).

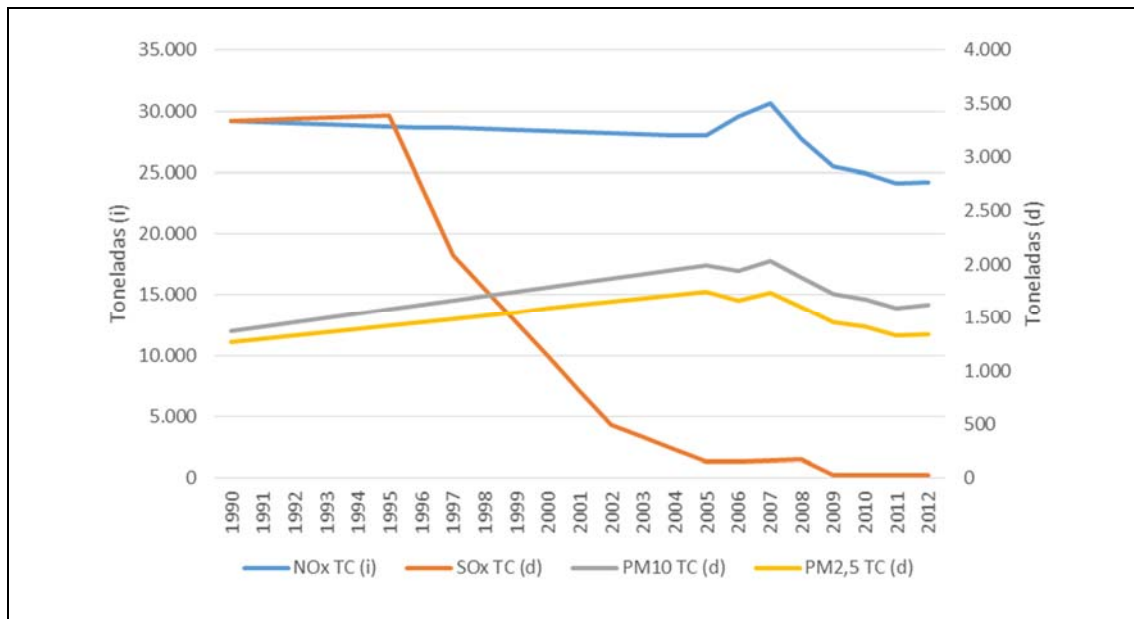
**GRÁFICO 24. Evolución de las emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y partículas en la CAPV**



Fuente: elaboración propia a partir de (Eustat, 2016) y (Gobierno Vasco, 2014).

<sup>72</sup> Es destacable el caso de Madrid, que en enero de 2016 ha aprobado un nuevo protocolo con límites de contaminación. Ello se debe a que la contaminación urbana ha superado los límites legales, siendo los parámetros de calidad del aire de Madrid suficientes como para que la Unión Europea sancione a España (León y Unión, 2016). Estos límites también se han superado en Barcelona.

**GRÁFICO 25. Evolución de las emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y partículas en el transporte por carretera (TC) de la CAPV**



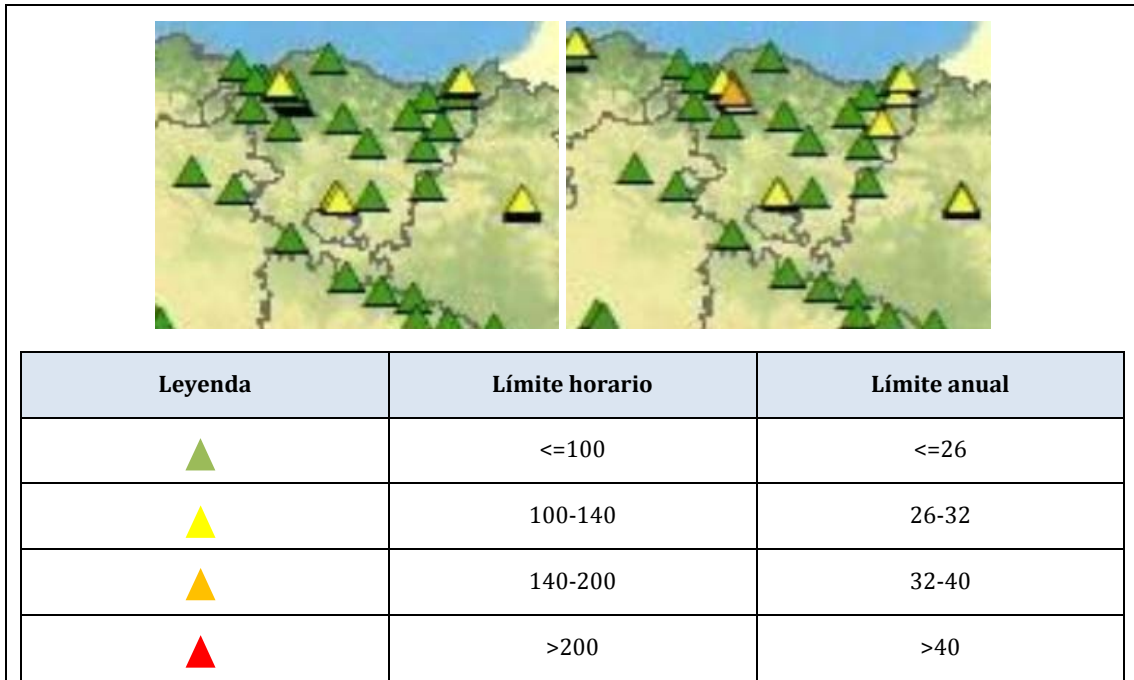
Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno Vasco, 2014).

Nota. Las toneladas de NO<sub>x</sub> se leen a la izquierda (i) y las de SO<sub>x</sub>, y partículas a la derecha (d).

A pesar del aumento del consumo de energía en el transporte, la reducción de NO<sub>x</sub> observada desde 2007, se debe fundamentalmente a la reducción del consumo de los sectores energético e industrial y, en menor medida, a la entrada en vigor de los límites de emisión para vehículos Euro 4, 5, 6, que establecen la obligatoriedad de instalar catalizadores de reducción de NO<sub>x</sub> en vehículos de gasolina y, de la Euro 6 cuyo cumplimiento requiere de la incorporación de catalizadores de reducción de NO<sub>x</sub> en los gases de escape de vehículos diésel.

En el siguiente mapa se puede observar qué zonas han destacado recientemente por su calidad del aire respecto al NO<sub>2</sub>, en la CAPV.

**FIGURA 6. Evolución de las zonas respecto al límite horario de NO<sub>2</sub> (2001-2015, izquierda) y límite anual de NO<sub>2</sub> (2015, derecha) para la protección de la salud en la CAPV**



Fuente: (MAGRAMA, 2016c).

Respecto a las emisiones de partículas, cabe decir que el transporte es responsable del 10% de las emisiones primarias de PM<sub>2,5</sub> asociadas a la energía<sup>73</sup>. Es destacable además que el 13% de PM<sub>2,5</sub> son emisiones no asociadas a la combustión<sup>74</sup>, como puede ser el desgaste y abrasión de los frenos, neumáticos, embrague o la misma carretera (AIE, 2016a).

Puede decirse que hay dos grandes medios para acometer la disminución de la contaminación ocasionada por el transporte. El primero estaría relacionado con la movilidad eficiente y al respecto puede verse el documento *Desarrollo de la movilidad sostenible en la CAPV. Un examen comparativo con Italia (GNC) y Francia (VE)* (Álvarez et al., 2017).

El segundo se orienta a todas las actuaciones que disminuyan las emisiones de los vehículos, utilizando para ello combustibles/energías alternativas al gasóleo y la gasolina, como el vehículo eléctrico, el de GNC, el de biogás, el de GLP y otros. Este es el objetivo primordial de este estudio, que analiza las distintas alternativas energéticas en el transporte de pasajeros, lo que se aborda en la parte III de este trabajo, en los capítulos 4 y 5.

<sup>73</sup> El sector residencial, en especial debido al uso de biomasa, produce el 40% de las emisiones de PM<sub>2,5</sub> en la UE, siendo un 33% de media en los países OCDE.

<sup>74</sup> Otras emisiones no asociadas a la combustión pueden ser las debidas a la evaporación del combustible en el depósito o el sistema de inyección. Esto es sobre todo asociado a compuestos orgánicos volátiles, no analizados en este estudio.



## II. ESTRATEGIAS, POLÍTICAS Y NORMATIVA EN LA CAPV EN EL MARCO DE LA POLÍTICA COMUNITARIA Y ESPAÑOLA

Como se ha visto hasta ahora, el sector del transporte supone un elemento capital en el consumo energético y en la emisión de contaminantes y de gases de efecto invernadero, por lo que ha de tener un papel importante en el establecimiento de políticas energéticas y medioambientales.

Estas políticas conviene tratarlas en primer lugar a nivel europeo, después a nivel estatal, y finalmente a nivel autonómico. A esto le seguirían las decisiones tomadas por las Diputaciones y los consistorios municipales, que en el transporte son también relevantes pero que no se examinan en este estudio.

### 3. ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS

La legislación que conduce directamente a la aplicación a la CAPV de las energías alternativas es, en primer lugar y a nivel europeo, la Directiva para el Desarrollo de Infraestructura de Combustibles Alternativos de 2014. Esta, se traspuso a la legislación de cada Estado miembro. En España lo hizo a través del Marco de Acción Nacional (2016). A nivel de la CAPV es necesario destacar en primer lugar la Estrategia Energética de Euskadi 2030 (cuya última versión fue aprobada por el Gobierno Vasco en julio de 2016 pero que aún está pendiente de aprobación parlamentaria).

Junto con estos documentos se encuentra también un conjunto de regulación anterior cuya importancia e influencia han de tenerse en cuenta para comprender la complejidad y amplitud de la cuestión energética en el transporte.

#### 3.1. La Directiva 2014/94/UE y las políticas europeas

La política europea relativa al transporte engloba diferentes ámbitos de actuación. Por un lado, el ámbito legislativo; reglamentos de obligado cumplimiento por todos los Estados sin necesidad de trasposición a su legislación, directivas que han de ser traspuestas a la legislación nacional de cada país; por otro lado, documentos de análisis de situación y de viabilidad de futuras propuestas; libros blancos, hojas de ruta, estrategias, etc.

##### 3.1.1. Ámbito legislativo de la UE

La siguiente tabla recoge un resumen de la amplia legislación europea adoptada desde 2008 con objeto de mejorar la calidad del aire ambiente en Europa para prevenir o reducir el impacto sobre la salud y el medio ambiente<sup>75</sup>. No se ha recogido en la tabla la legislación dirigida a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de forma genérica, sólo se ha incluido aquella que afecta directamente al transporte, como la Directiva 2009/28/CE que estableció la

---

<sup>75</sup> Cabe mencionar también la Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad; a la que se hace referencia en varias ocasiones a lo largo del estudio.

contribución de las renovables en la gasolina y el diésel utilizados en el transporte o el Reglamento 333/2014, que fijó en 95 g/km las emisiones medias de los vehículos puestos en el mercado a partir de 2020.

**TABLA 20. Resumen de la principal legislación europea relevante relativa al transporte por carretera**

Documento	Año	Objeto
<b>Reglamento CE 715/2007 sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6)</b>	2007	Establece los límites de emisión Euro 5 y Euro 6 para vehículos ligeros así como las fechas para la entrada en vigor de los mismos.
<b>Directiva 2008/50/CE sobre la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia para Europa</b>	2008	Entre otros, definir y establecer objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto.
<b>Reglamento CE 692/2008 sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6)</b>	2008	Modifica los límites de emisión del Reglamento CE 715/2007.
<b>Directiva 2009/28/CE sobre el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables</b>	2009	Fija objetivos nacionales obligatorios de contribución de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía y en el consumo de energía en el transporte.
<b>Directiva 2009/30/CE sobre especificaciones de la gasolina, el diésel y el gasóleo</b>	2009	Establece, respecto a los vehículos de carretera y las máquinas móviles no de carretera: a) especificaciones técnicas para los combustibles destinados a ser utilizados en vehículos equipados con un motor de encendido por chispa y con un motor diésel, teniendo en cuenta los requisitos técnicos de esos motores, y b) un objetivo de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida».
<b>Directiva 2009/33/CE sobre la promoción de vehículos de carretera limpios y energéticamente eficientes</b>	2009	Ordenar 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 CO <sub>2</sub> 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.
<b>Reglamento CE 443/2009 por el que se establecen normas de comportamiento en emisiones de los vehículos nuevos para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de los vehículos ligeros</b>	2009	Fija en 130 g de CO <sub>2</sub> /km el promedio de emisiones de CO <sub>2</sub> de los turismos nuevos, mediante el perfeccionamiento de la tecnología de los motores de los vehículos,
<b>Reglamento CE 333/2014 que modifica el Reglamento (CE) no 443/2009 a fin de definir las modalidades para alcanzar el objetivo de 2020 de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los turismos nuevos</b>	2014	Fija un objetivo, aplicable a partir de 2020, de 95 g de CO <sub>2</sub> /km de emisiones medias para el parque de turismos nuevos.

<b>Reglamento (UE) nº 1315/2013 orientaciones para el desarrollo de una red europea de transporte</b>	2013	Establece orientaciones para el desarrollo de una red transeuropea de transporte con una estructura de doble capa, consistente en la red global, y la red básica, que se establece sobre la red global.
<b>Directiva 2014/94/UE sobre la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos</b>	2014	Establece un marco común de medidas para la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos en la Unión a fin de minimizar la dependencia de los transportes del petróleo y mitigar el impacto medioambiental del transporte.
<b>Directiva 2015/1513/UE por la que se modifican la Directiva 98/70/CE, relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo, y la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables</b>	2015	Establece un máximo para los biocombustibles producidos a partir cultivos plantados en tierras agrícolas y considera el cálculo de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables consumida por los vehículos eléctricos de carretera.
<b>Reglamento (UE) 2016/427 por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 692/2008 en lo que concierne a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 6) (Texto pertinente a efectos del EEE)</b>	2016	Establece la determinación de emisiones en condiciones reales de conducción

Fuente: elaboración propia.

A continuación se pasa revista a algunos de los elementos clave de esta legislación

#### **La Directiva 2014/94/UE**

La Unión Europea aprobó en 2014 la Directiva 2014/94/UE (*Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure* o DAFI), en 2014, para impulsar medidas para el desarrollo de combustibles alternativos en el transporte. Esta directiva se considera un elemento legislativo básico en la actualidad.

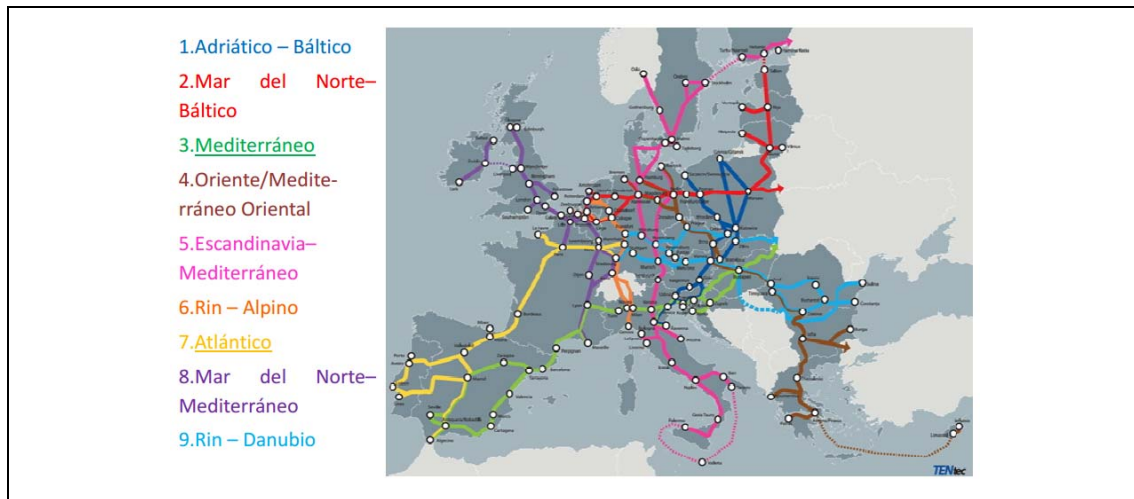
Establece por un lado la implantación a nivel nacional de una infraestructura para los combustibles alternativos y, por otro, el desarrollo de las infraestructuras necesarias dentro la Red Transeuropea de Transportes (RTE-T).

En relación con el vehículo eléctrico esta directiva determina que *“los Estados miembro harán lo necesario, a través de sus marcos de acción nacionales, para que se cree un número adecuado de puntos de recarga accesibles al público antes del 31 de diciembre de 2020”*, y en lo que se refiere al gas natural se dice que *“los Estados miembros dispondrán lo necesario, a través de sus marcos de acción nacionales, para que se cree un número adecuado de puntos de repostaje accesibles al público el 31 de diciembre de 2020 a más tardar”*.

Asimismo se menciona que *“los Estados miembros pondrán en vigor las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a lo establecido en la presente Directiva a más tardar el 18 de noviembre de 2016”* (DOUE, 2014). Una de las principales implicaciones de esta directiva, como se ha señalado, ha sido la elaboración, por parte del Gobierno de España, del Marco de Acción Nacional, resulta relevante para este estudio.

En cuanto a la Red Transeuropea de Transporte, como se puede apreciar en el siguiente mapa, de los nueve corredores que conforman la estructura de la red, el llamado Corredor Atlántico (color amarillo) atraviesa la CAPV. Dicho corredor conecta la parte occidental de la península ibérica, con París y con Mannheim/Estrasburgo (Comisión Europea, 2014).

**FIGURA 7. Obligaciones de la Directiva 2014/94/UE en cuanto a corredores de transporte**



Fuente: (MINETUR, 2015c).

Nota: Las infraestructuras de combustibles alternativos están dentro de esta infraestructura general.

### ***Biocombustibles y electricidad renovable en vehículos eléctricos***

En 2015, la nueva Directiva 2015/1513/UE modificó la Directiva 2009/28/CE. Cabe destacar que esta establece un 7% máximo para los biocombustibles producidos a partir de cereales y otros cultivos plantados en tierras agrícolas.

También estableció el método de cálculo de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables consumida por los vehículos eléctricos de carretera. De esta manera considera que dicho consumo corresponde a cinco veces el contenido en energía del insumo de electricidad procedente de fuentes de energía renovables. Esta directiva debería ser transpuesta para el 10 de septiembre de 2017 por España.

### ***Políticas europeas relativas a la calidad del aire***

Dos son los objetivos principales de la legislación europea sobre el aire: mejorar la calidad del mismo estableciendo los estándares a alcanzar para la protección de la salud, y por otro, reducir las emisiones de GEI. Es evidente, pues, que ambos objetivos afectan al transporte como emisor de gases de efecto invernadero y de contaminantes que afectan a la calidad del aire.

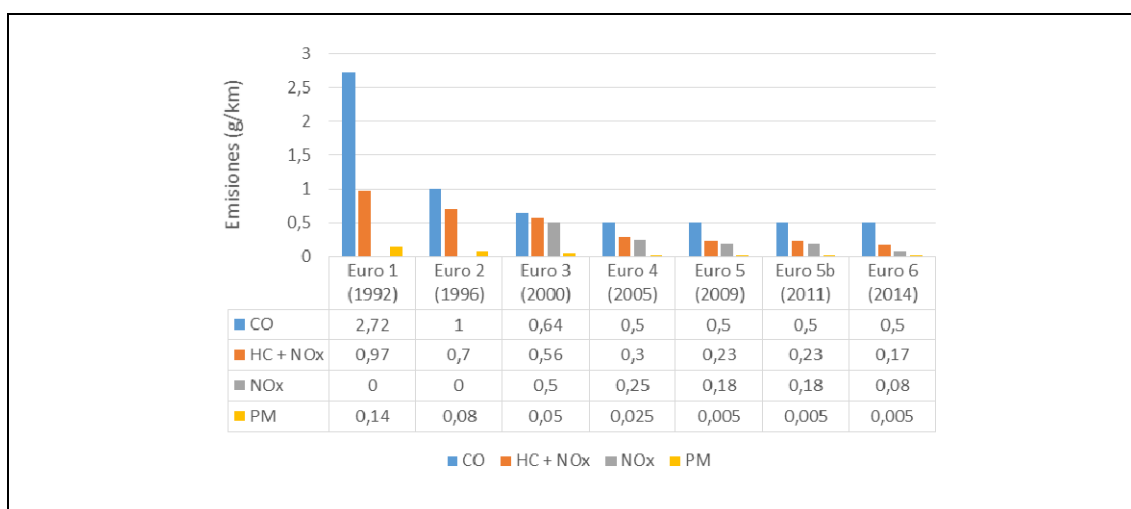
En lo que se refiere al objetivo de calidad del aire, la legislación se dirige directamente al vehículo estableciendo límites de emisión de contaminantes en el escape (principalmente NO<sub>x</sub> y partículas), impulsando así el desarrollo de motores eficientes. También se dirige al transporte de forma global capacitando a las

autoridades locales a tomar medidas de carácter temporal como restringir el tráfico en caso de no alcanzarse los estándares de calidad del aire.

Uno de los resultados fundamentales de la legislación en materia de emisiones ha sido la evolución de los estándares de emisión en el escape para vehículos, conocidos como “Euro standards” (simbolizados con numeración arábica para los vehículos ligeros y con numeración romana para vehículos pesados), y cuya entrada en vigor ha llevado a la adaptación de las especificaciones de gasolinas y gasóleos.

En la evolución desde 1992 hasta 2014 de los límites para HC+NO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y PM, puede apreciarse que en general cada cuatro años ha habido una reducción de los límites y que en el año 2000 se fijaron límites para los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

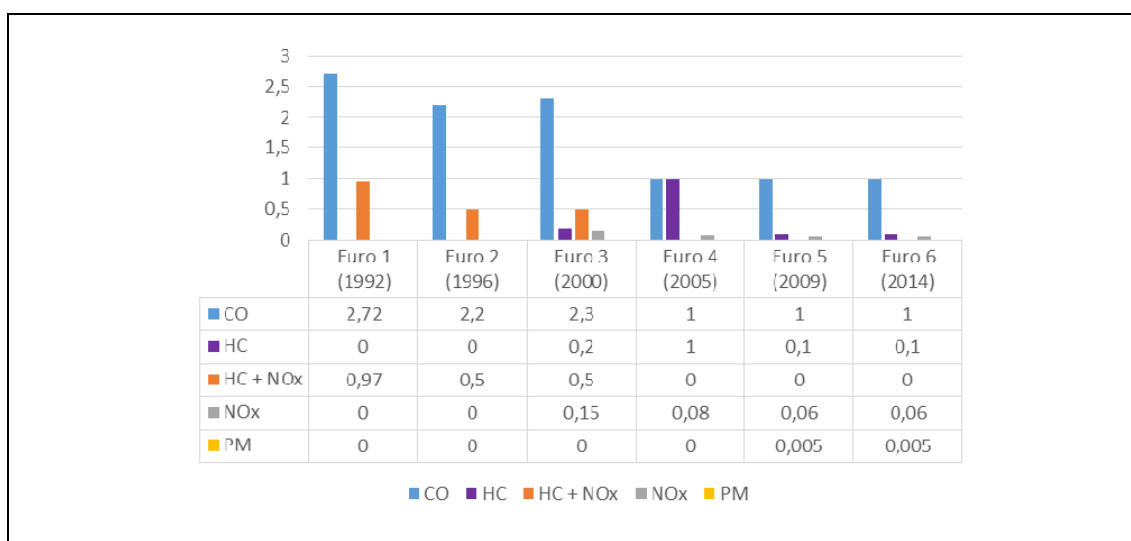
**GRÁFICO 26. Límites establecidos para los motores de diésel**



Fuente: elaboración propia a partir de (Lubrizon, 2016).

Nota: La norma Euro 5b introduce requisitos adicionales de cantidad de partículas por kilómetro.

**GRÁFICO 27. Límites establecidos para los motores de gasolina**



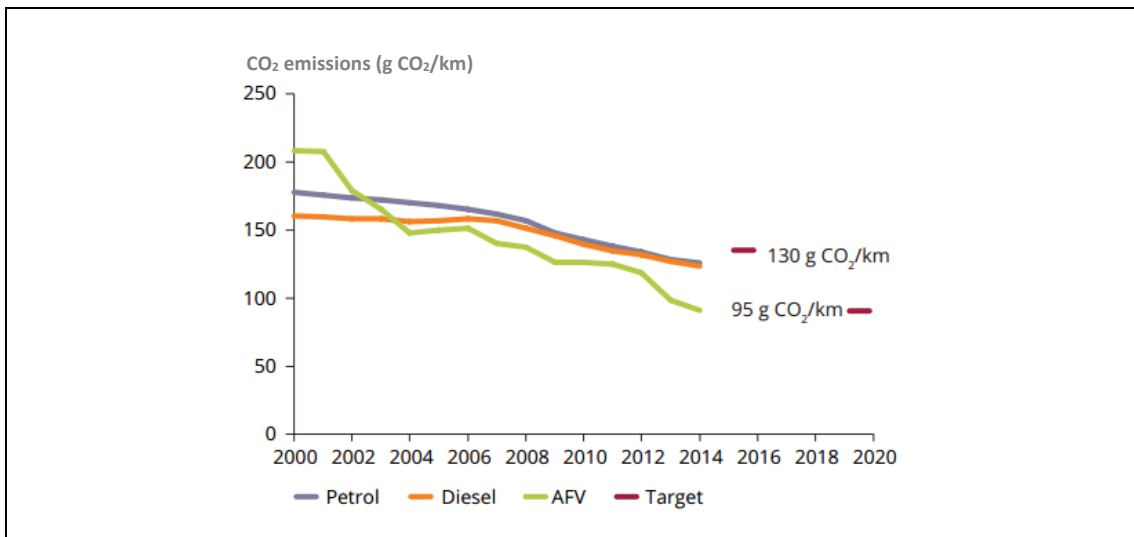
Fuente: elaboración propia a partir de (Lubrizon, 2016)

Nota: Los límites de PM son sólo aplicables a motores DI.

De mismo modo la legislación sobre la reducción de gases de efecto invernadero se ha orientado directamente al transporte estableciendo límites a la emisión de CO<sub>2</sub> para los vehículos, e indirectamente estableciendo objetivos globales de reducción de emisiones a nivel europeo (por tanto, nacionales), fomentando la colaboración entre países para el establecimiento de redes europeas, o capacitando a las autoridades nacionales y/o locales a adoptar medidas sobre el transporte como sector, como por ejemplo favorecer la renovación de la flota de vehículos.

La UE adoptó en 2009 una regulación estableciendo el límite de emisión del CO<sub>2</sub> para vehículos de pasajeros en 130 g/km, valor medio para el conjunto de todos los fabricantes, a alcanzar en 2015 y, posteriormente, en 2013 un nuevo límite de 95 g/km a alcanzar a partir de 2020. La emisión media de CO<sub>2</sub> de los nuevos vehículos cayó desde 160 g/km en 2006 hasta 132 g/km en 2012, a una tasa media anual dos veces superior a la inicialmente prevista, permitiendo alcanzar el objetivo de 130 g/km dos años antes de la fecha fijada como objetivo.

**GRÁFICO 28. Evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los nuevos coches de transporte de pasajeros por tipo de combustible en la UE-28**



Fuente: (EEA, 2015).

### 3.1.2. Ámbito indicativo de la UE

Como se ha comentado, existen también otros documentos, que no teniendo carácter legislativo vinculante, tienen incidencia en el transporte. Algunos de ellos se recogen en la siguiente tabla.

**TABLA 21. Resumen de algunos de los documentos europeos relevantes sin carácter legislativo vinculante relativos al transporte por carretera**

Documento	Año	Objeto
<b>Libro Blanco de la Comisión / Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible</b>	2011	Análisis de la situación actual, búsqueda de propuestas de cambio y análisis de viabilidad de las de mayor potencialidad de implantación.
<b>Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050</b>	2011	Establecimiento de objetivos estratégicos, análisis de elementos necesarios para su consecución y formas de establecimiento de medidas para el impulso de dichos elementos.
<b>CARS 2020: Plan de Acción para una industria del automóvil competitiva y sostenible en Europa</b>	2012	Factibilidad de desarrollo de nuevas tecnologías en la industria del automóvil orientada a la mejora de la eficiencia y medida para el impulso de implantación.
<b>Energía limpia para el transporte: Estrategia europea en materia de combustibles alternativos</b>	2013	Desarrolla una estrategia para impulsar la utilización de combustibles alternativos.
<b>EU Energy, Transport and GHG Emissions. Trends to 2050. Reference Scenario 2013</b>	2013	Proyección de las tendencias esperadas a 2050, respecto a la situación en 2013 bajo las condiciones de cumplimiento de las medidas analizadas en la estrategia.
<b>Paquete sobre la Unión de la Energía. Estrategia Marco para una Unión de la Energía resiliente con una política climática prospectiva</b>	2015	El objetivo de una Unión de la Energía resiliente, centrada en una política climática ambiciosa, es ofrecer a los consumidores de la UE, hogares y empresas, una energía segura, sostenible, competitiva y asequible.
<b>Estado de la Unión de la Energía 2015</b>	2015	Informe de situación en 2015.

Fuente: elaboración propia

Un documento de relevancia es el Libro Blanco del Transporte de la Comisión Europea del año 2011, u *Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible*, del mismo año que el anterior documento.

También en el año 2011 la Comisión Europea elaboró una *Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050*, según la cual se espera conseguir una reducción del 80% (incluso, de poderse, hasta el 95%) de emisiones de GEI respecto a 1990, fijándose esta cifra en relación con las emisiones de la UE sin compensar con los mercados de carbono, con pasos intermedios del 40% y el 60% para 2030 y 2040 respectivamente.

Como puntos clave para lograr dicha meta, se consideran las energías renovables, la implantación de edificios con emisiones reducidas (gracias a las renovables y a la eficiencia energética) y las nuevas tecnologías como la captura y almacenamiento de carbono.

En cuestión de movilidad considera, por un lado, la gestión de la demanda mediante la ordenación del territorio y la planificación urbanística, y por otro, un transporte más eficiente y sostenible. Para este último se pretende el desarrollo de una transición a través de tres pilares: nuevos motores, utilización de materiales más ligeros y diseños que lleven a una mayor eficiencia, combustibles adaptados a los

nuevos motores y sistemas de propulsión, así como el empleo de los sistemas de información y comunicación para mejorar el uso de las redes, con un funcionamiento más seguro.

El Plan de Acción CARS 2020, está orientado a mantener el liderazgo mundial de la industria del automóvil europea, impulsando su seguridad y su rendimiento medioambiental. Se basa en la importancia económica, teniendo en cuenta el volumen de empleo que genera, su vinculación con otras industrias y su efecto multiplicador, así como la inversión en I+D que realiza. Por ello, dispone cuatro líneas de acción con medidas de crecimiento y competitividad: innovación, competitividad, mercados emergentes y formación y gestión de reestructuraciones.

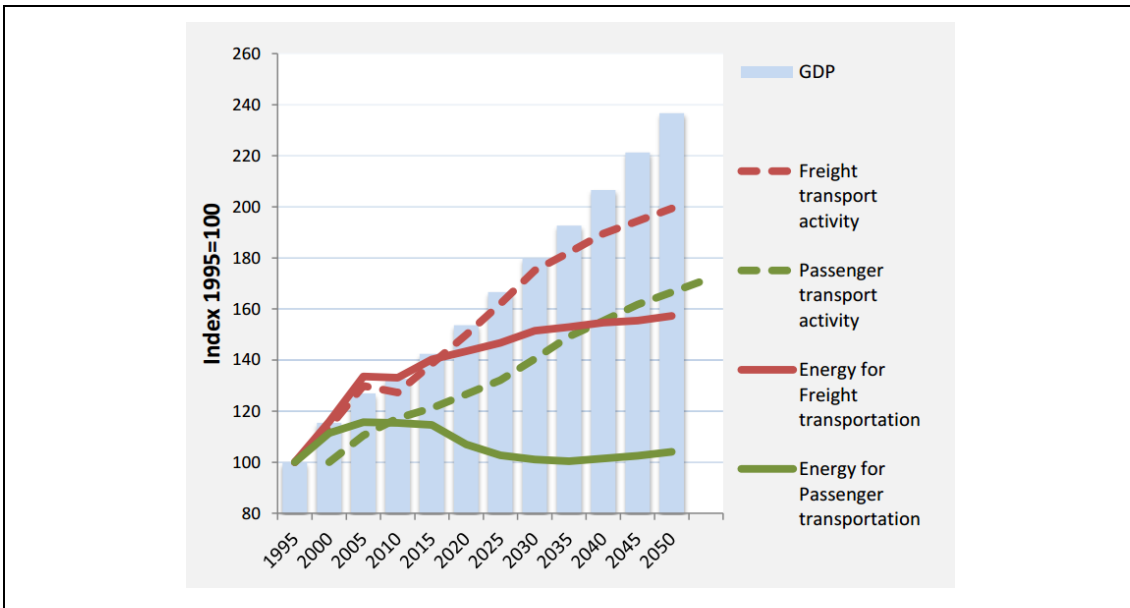
Por su parte, la Comunicación de la Comisión Europea de 2013, titulada *Energía limpia para el transporte: Estrategia europea en materia de combustibles alternativos*, supuso una propuesta de estrategia global para el desarrollo de los combustibles alternativos, en tecnología e inversiones, mediante el establecimiento de un marco político a largo plazo. Dicha comunicación incluye una orientación general y a su vez objetivos obligatorios como las especificaciones técnicas comunes.

La Comisión Europea, en el informe *EU Energy, Transport and GHG Emissions. Trends to 2050. Reference Scenario 2013*, del año 2013, al referirse al sector transporte, señala que este tendrá una de las tasas de crecimiento más significativas hasta el año 2030, inducido por la actividad económica. Se espera que el transporte por carretera mantenga el papel dominante en el transporte de pasajeros hasta el año 2050, aunque crezca con una tasa ligeramente inferior que otros medios de transporte. En cualquier caso, se prevé que sólo el transporte de pasajeros en automóviles represente el 67% del transporte total de pasajeros por carretera en el año 2050 (Comisión Europea, 2013).

La actividad de transporte de pasajeros se espera que crezca en el periodo citado, previendo el desacoplamiento del consumo de energía, tal como puede verse en el gráfico siguiente, debido a las mejoras de eficiencia energética en vehículos, a la mejora del sistema de gestión y de la red de transporte.



## GRÁFICO 29. Tendencias en la actividad y consumo energético del transporte



Fuente: (Comisión Europea, 2013).

Nota: Se trata de emisiones de certificación de vehículos, no emisiones reales.

### La Unión de la Energía

Otra iniciativa política de envergadura que engloba también el transporte es la Unión de la Energía. La Comisión Europea ha elaborado una hoja de ruta en la que se desglosan las medidas para lograr dicha unión. Entre ellas están las “medidas en el ámbito del transporte” (Comisión Europea, 2015).

De estas, para el año 2016 se proponen dos medidas. Por un lado, la Comisión será la responsable de fijar los precios para la utilización de las infraestructuras del transporte, basada en los principios de “quien contamina paga” y “quien utiliza paga” de manera equitativa y efectiva, así como de una revisión de la Directiva “Euroviñeta” y de un marco para promover el peaje electrónico europeo.

Otra medida consiste en que la Comisión revise las normas de acceso al mercado del transporte por carretera para el impulso de su eficiencia energética. Para el mismo año se contempla un Plan Maestro para el despliegue de sistemas de transporte inteligentes cooperativos, del que son responsables junto con la Comisión, los Estados Miembros y la industria.

Respecto a las medidas para la Unión de la Energía, cuyo calendario previsto se refiere al periodo 2016-2017, una es revisar los Reglamentos que establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos y furgonetas, y otra establecer un sistema de seguimiento y notificación de las emisiones de los vehículos pesados (camiones y autobuses) a efectos de una mejor información para el consumidor. Ambas son también responsabilidad de la Comisión Europea.

Hay finalmente otras dos medidas para 2017, de las que de nuevo se ha de encargar la misma Comisión, que consisten en revisar la Directiva sobre promoción de

vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes, por un lado, y la comunicación sobre la descarbonización del transporte, incluyendo un plan de acción sobre biocombustibles de segunda y tercera generación y otros combustibles sostenibles alternativos, por el otro.

Cabe finalmente, mencionar una característica de la política europea de los últimos años, que es la consideración de que el esfuerzo de la UE debe ir de la mano de reducciones paralelas en el resto del mundo, en especial de los socios de esta, ya que no puede hacer frente al cambio climático en solitario, y el hecho de aplicarse a sí misma esfuerzos adicionales en este sentido, podría empujar a que el resto le siga.

### **3.2. El Marco de Acción Nacional y las políticas del Gobierno de España**

Al igual que ocurre con la legislación europea, España ha desarrollado distintos instrumentos que afectan al transporte. De todos ellos, el más reciente y uno de los que más importancia tienen para este estudio es el Marco de Acción Nacional (MAN) que se describe a continuación, junto con algunas otras medidas relevantes del ordenamiento español<sup>76</sup>.

#### **3.2.1. Marco de Acción Nacional**

Como se ha visto en el apartado anterior, la Directiva DAFI requería a los Estados Miembros de la Unión Europea que para noviembre de 2016 dispusieran de un plan de acción para la promoción de las infraestructuras necesarias para la penetración de los combustibles alternativos, así como su posterior desarrollo.

Debido a esto, se constituyó un Grupo Interministerial cuyo objetivo era crear un marco nacional de fomento de combustibles alternativos (MAGRAMA, 2016b). A esto habría que añadir los planes de estímulo MOVEA, con un presupuesto de 16,6 millones de euros para 2016 y otros 16,6 millones para 2017.

En 2015, se elaboró en este sentido un Proyecto de Real Decreto para la aplicación de la Directiva DAFI, cuya aprobación se previó para 2016, interviniendo los Ministerios de Industria Energía y Turismo, Economía, Hacienda, Agricultura, Alimentación y Turismo e Interior (MINETUR, 2015a).

Finalmente, el 9 de diciembre de 2016 el Consejo de Ministros aprobó el Real Decreto 639/2016 (BOE, 2016) y el esperado Marco de Acción Nacional (Gobierno de España, 2016). Los supuestos de dicho plan constituyen una referencia para los escenarios que se elaboran en el capítulo 5, al establecer el contexto para las CCAA.

#### **3.2.2. Otras políticas del Gobierno de España**

La adaptación de la legislación española o las estrategias del Gobierno, según lo dispuesto a nivel europeo, así como iniciativas propias, han dado lugar a una serie de normativa. La siguiente tabla recoge algunas de las más relevantes.

<sup>76</sup> No se recogen aquí todas las políticas y/o documentos relativos a biocombustibles.

**TABLA 22. Resumen de la principal legislación española relativa al transporte por carretera**

Documento	Año	Objeto
Real Decreto-Ley 6/2010	2010	Modificar la Ley del Sector Eléctrico e incluir la figura del gestor de carga
Ley 2/2011. Ley de Economía Sostenible	2011	Transponer la Directiva 2009/33/CE
Real Decreto 102/2011	2011	Transponer Directiva 2008/50/CE
Real Decreto 647/2011	2011	Regular la figura del gestor de carga y crear la tarifa <i>supervalle</i>
Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire (Plan Aire)	2013	Reducir la densidad de vehículos
Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020)	2015	Impulsar las energías alternativas en el transporte en mercados, industria e infraestructuras, así como ser punto de partida para el Marco de Acción Nacional
Real Decreto 1085/2015	2015	Fomento de los biocombustibles y establecer los objetivos a 2020 de consumo energético para los mismo
Marco de Acción Nacional de Energías Alternativas en el Transporte	2016	Elaborar un contexto de actuación en cumplimiento de la Directiva 2014/94/CE
Real Decreto 639/2016, por el que se establece un marco de medidas para la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos	2016	Establecer el marco para la implantación de infraestructura para los combustibles alternativos y los requisitos para crear infraestructura para los combustibles alternativos.

Fuente: elaboración propia.

Nota: Para más información ver anexo 2.

Como resultado de la orientación de las políticas españolas según lo dispuesto por la Unión Europea, existe desde 2015 una *Estrategia de impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020)*. Esta estrategia recoge diferentes propuestas de actuación estructuradas en cinco líneas estratégicas, con 30 medidas, cubriendo tres ejes de actuación: Industrialización, Mercado e Infraestructura (MINETUR, 2015b). Es de este último eje de donde parte la iniciativa para sentar las bases del Marco de Acción Nacional contemplado en la Directiva DAFI.

#### **Calidad del aire**

La anteriormente mencionada Directiva 2008/50/CE fue transpuesta a la legislación española mediante el Real Decreto 102/2011, estableciendo su correspondiente régimen sancionador. En 2011, se aprobó la Ley de Economía Sostenible, que servía para transponer la ya citada Directiva 2009/33/CE del vehículo limpio (artículos 105 y 106).

Por su parte, el Plan Nacional de Calidad del Aire (Plan Aire) de 2013 propuso medidas con el objeto de reducir la densidad de vehículos en las ciudades, siendo estas la creación de ZUAP (Zonas Urbanas de Atmósfera Protegida), una nueva regulación del Impuesto de Circulación y actuaciones en puertos y aeropuertos.

#### **Gestores de carga del sistema**

Cabe destacar el Real Decreto-ley 6/2010, que a través de algunos de sus artículos reformaba la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. En concreto, su

artículo 23 incluía en el marco normativo del sector eléctrico un nuevo agente del sector, los gestores de cargas del sistema, que prestarán servicios de recarga de electricidad. En el artículo 24, se establecía, además, que la Administración podrá adoptar programas específicos de ahorro y eficiencia energética en relación con el desarrollo del vehículo eléctrico (BOE, 2010).

Tras esto, el Real Decreto 647/2011 reguló la figura del gestor de carga del sistema para los vehículos eléctricos. Al mismo tiempo estableció una nueva modalidad de tarifa con mayor discriminación horaria llamada *supervalle* (BOE, 2011). Esta tarifa (supervalle o periodo 3) está destinada a cubrir la demanda generada entre la 1.00 y las 7.00 de la mañana, mientras que las ya existentes se delimitan entre las 23.00 y la 1.00 y entre las 7.00 y las 13.00 (valle o periodo 2), y de 13.00 a 23.00 (punta o periodo 1). Su evolución desde su implantación se puede ver en el capítulo 5.

Finalmente, el Real Decreto 1085/2015 introduce medidas para la utilización de combustibles renovables dedicados al transporte y transpone parcialmente la Directiva 2015/1513. Establece, de ésta manera, objetivos en biocombustibles a 2020 que se verán en el capítulo 5.

### **3.3. La Estrategia Energética 2030 y otras políticas en la CAPV**

Al igual que a nivel comunitario y estatal, la CAPV ha desarrollado un marco normativo y de actuación relevante para el transporte que se verá a continuación, en el que destaca la Estrategia Energética de Euskadi 2030 (3E-2030).

#### **3.3.1. Estrategia Energética de Euskadi 2030**

La Estrategia Energética de la CAPV a 2030, pendiente de la aprobación parlamentaria, plantea ocho líneas de actuación a seguir, incluyendo el transporte, que es tratado en concreto en la Línea 2 (Disminuir la dependencia del petróleo en el sector transporte) (Larrea, 2016). A 2050 plantea un objetivo de consumo nulo de petróleo para usos energéticos, lo que requiere un cambio estructural en el sistema de transporte<sup>77</sup>.

El Gobierno Vasco ha establecido también como línea de actuación, la reducción de la dependencia del petróleo en el sector del transporte (10% en 2025 respecto a 2015 y 30% en 2030 respecto a 2015 también). En este sentido ha planteado iniciativas como la promoción de vehículos más eficientes y una conducción más eficiente de los mismos<sup>78</sup>, el desarrollo de auditorías y sistemas inteligentes para la gestión de flotas de transporte<sup>79</sup> y el impulso al uso de combustibles y tecnologías

<sup>77</sup> El transporte habría de ser fundamentalmente eléctrico y con gas. En el caso particular del transporte de mercancías la tecnología no está todavía plenamente desarrollada. Por tanto, este objetivo debería ser analizado en profundidad; debiéndose tener en cuenta que la planificación debería de hacerse integrando a todos los sectores.

<sup>78</sup> Por ejemplo, la creación de un manual de conducción eficiente para vehículos turismo.

<sup>79</sup> Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera, por ejemplo.

alternativos<sup>80</sup> con porcentajes de penetración del 4% en 2015, 10% en 2025 y un 25% en 2030 (Larrea, 2016).

La estrategia también plantea a la Administración pública la necesidad de la renovación sostenible del parque móvil de las administraciones vascas. En este sentido, el Decreto 178/2015, de sostenibilidad, ya establecía que a partir de la entrada en vigor del mismo, los vehículos que se adquirieran por el sector público de la comunidad autónoma deberán utilizar fuentes de energía alternativa a los derivados de petróleo. Además, los centros de trabajo que cuenten con un mínimo de cien personas al servicio del sector público de la Comunidad Autónoma deben disponer de un plan de transporte a dichos centros, que debe aprobarse en el plazo máximo de 2 años desde la entrada en vigor de este decreto<sup>81</sup>.

Sin embargo, también contempla la problemática del transporte en la estrategia de desarrollo sostenible a 2020. En ella se plantea este tema desde dos puntos de vista u objetivos, siendo el primero la minimización de la dependencia energética de las energías de origen fósil, la mitigación de las emisiones de GEI y de los efectos del cambio climático. El segundo objetivo que plantea es la necesidad de desarrollar un modelo de movilidad integrada y sostenible que facilite la vertebración del territorio y su conexión con el exterior en condiciones competitivas. Ambos objetivos se encuentran estrechamente relacionados (Larrea, 2016).

Para su consecución establece como líneas de actuación impulsar la mejora de la eficiencia energética y la reducción del consumo energético, fomentar el uso de energías renovables, promover modos de transporte más sostenibles así como infraestructuras y servicios integrados de transporte.

**TABLA 23. Esfuerzo de reducción del consumo energético en el transporte**

	2014	2025	2030	Método de cálculo
Porcentaje de ahorro energético en transporte por carretera		11%	19%	Establecido en objetivos
Reducción derivados petróleo transporte por carretera s/2015		10%	30%	Establecido en objetivos
Energías alternativas en carretera		10%	25%	Establecido en objetivos
Consumo tendencial de energía en el transporte por carretera (ktep)	1.777	2.100	2.200	En base a los datos de la de la estrategia
Consumo de energía total en el transporte por carretera (ktep) en base a supuestos de ahorro	1.777	1.800	1.750	En base a los datos de la estrategia
Consumo de derivados del petróleo en el transporte por carretera (ktep)	1.712	1.541	1.198	Se calcula aplicando el porcentaje de reducción de consumo de los derivados del petróleo
Consumo de otras energías en el transporte (ktep)	65	259	552	Se calcula por diferencias del consumo total en el transporte y del consumo de derivados del petróleo en el transporte
Ahorro (ktep)		231	418	En base a los datos de la estrategia

Fuente: (Larrea, 2016).

<sup>80</sup> Como la movilidad eléctrica, gas natural, etc.

<sup>81</sup> Si bien se trata de un gesto ejemplar, es cuestionable el impacto en el consumo total.

### 3.3.2. Otras políticas de la CAPV

A continuación se recogen algunos de los elementos más relevantes de las políticas en la CAPV relativos al transporte, que primero se muestran en la siguiente tabla y luego se comentan brevemente.

**TABLA 24. Resumen de los planes y estrategias en la CAPV relativos al transporte**

Documento	Año	Objeto
<b>Plan Director de Transporte Sostenible</b>	2002	Primera concepción del transporte ambientalmente sostenible mediante promoción del transporte público y la intermodalidad.
<b>Estrategia para la introducción del vehículo eléctrico en Euskadi</b>	2010	Crear una red de puntos de recarga en el territorio, apoyo al sector vasco industrial, acceso al vehículo eléctrico y desarrollo de un marco jurídico favorable.
<b>Estrategia Vasca de Cambio Climático 2050</b>	2015	Cumplir con los objetivos del entorno europeo.
<b>Estrategia Energética de la CAPV 2030</b>	2016 (pendiente de aprobación parlamentaria)	Instrumento de planificación que permita evolucionar progresivamente hacia un nuevo modelo de menor consumo energético.

Fuente: elaboración propia.

Nota: No se incluye en la tabla el Programa de ayudas e inversiones en transporte y movilidad sostenible, al considerarse que se trata de una herramienta de impulso para los objetivos establecidos.

#### *Planificación de transportes*

El Plan Director de Transporte Sostenible 2002- 2012 es el que por primera vez recoge el objetivo de un transporte ambientalmente sostenible, siguiendo el reto la UE de desvincular la demanda de transporte del crecimiento económico, al tiempo que se mejora y promueve una mayor utilización del transporte público y se da lugar a la utilización más racional del vehículo privado<sup>82</sup>.

Sus principales actuaciones estaban encaminadas a la promoción del transporte público y la intermodalidad. En la actualidad se está elaborando el próximo Plan Director del Transporte Sostenible con un horizonte 2020 que incluirá aspectos clave para la reducción de emisiones de GEI, como el fomento de la intermodalidad, la eficiencia y las nuevas tecnologías y carburantes con menos emisiones de GEI, así como la mejora de la información y las infraestructuras.

En lo relativo al desarrollo de alternativas en el transporte, destaca la Estrategia para la introducción del vehículo eléctrico en la CAPV, que define cuatro ejes estratégicos: impulso al sector de la automoción, desarrollo de la infraestructura de puntos de recarga, creación de masa crítica y adecuación del marco jurídico. Algunas de sus principales medidas o resultados se describen en el siguiente capítulo, al afectar éstas directamente al vehículo eléctrico en la CAPV. Cuando el Gobierno Vasco la presentó en abril de 2010, se consideró como un medio para mejorar la

<sup>82</sup> Se desarrolló siguiendo las indicaciones de la Política Común Europea y estaba dirigido al control de la movilidad y la consecución de un equilibrio modal entre los diferentes medios de transporte, sin olvidar la seguridad, el transporte preventivo y la calidad y efectividad en el mismo.

eficiencia energética en el transporte e impulsar nuevas oportunidades de negocio para la industria vasca (Gobierno Vasco, 2016).

### ***Estrategia de cambio climático***

Por su parte la Estrategia de Cambio Climático 2050 de la CAPV (*Klima 2050*) pretende seguir las líneas de progreso en materia medioambiental necesarias para cumplir con los objetivos europeos en la CAPV; argumentando al mismo tiempo una necesidad en este sentido, basada en la preocupación sobre el cambio climático por parte de la sociedad vasca<sup>83</sup> (Gobierno Vasco, 2015b).

Según se indica en el mismo documento, el conjunto de criterios lleva a dar prioridad a las actuaciones sobre el transporte primero y la industria después<sup>84</sup>.

De esta manera se pretende alcanzar para 2030 una reducción de las emisiones de GEI respecto a 2005 de al menos el 40%, y que para 2050 debería de ser al menos del 80%. Estos objetivos conforman, junto con un 40% de energías renovable sobre el consumo final en 2050, dos elementos clave de esta estrategia. El otro objetivo busca asegurar la resiliencia del territorio vasco al cambio climático.

Para poder cumplir estas previsiones, la mencionada Estrategia de Cambio Climático contempla nueve metas diferentes, formadas por 24 líneas de actuación<sup>85</sup>. Así, la meta que se refiere directamente al transporte es la *Meta 2, Caminar hacia un transporte sin emisiones*<sup>86</sup>, cuyas líneas de actuación son tres, a saber: potenciar la intermodalidad y los modos de transporte con menores emisiones de GEI<sup>87</sup>; sustituir el consumo de derivados del petróleo; e integrar criterios de vulnerabilidad y criterios de adaptación en infraestructuras de transporte.

---

<sup>83</sup> Los estudios sociológicos realizados para argumentar la potenciación de la estrategia climática indican que el 72% de la población da a la protección medioambiental y a hacer frente al cambio climático, la categoría de cuestiones inmediatas y urgentes, siendo un 60% de la sociedad la que opina que, a pesar de las circunstancias económicas, la protección medioambiental ha de ser intensificada (Gobierno Vasco, 2015b).

<sup>84</sup> Es importante destacar las emisiones específicas (tCO<sub>2</sub>/tfuel) del combustible medio utilizado. Así, en la industria se ha cambiado de fueloil a gas natural, con menores emisiones por unidad energética aportada.

<sup>85</sup> Estas metas son: apostar por un modelo energético bajo en carbono; caminar hacia un transporte sin emisiones; incrementar la eficiencia y la resiliencia del territorio; aumentar la resiliencia del medio natural; aumentar la resiliencia del sector primario y reducir sus emisiones; reducir la generación de residuos urbanos y lograr el vertido cero sin tratamiento; anticiparse a los riesgos; impulsar la innovación, mejora y transferencia del conocimiento; y una administración pública vasca responsable, ejemplar y referente en cambio climático.

<sup>86</sup> Es paradójico este título, ya que realmente ni el vehículo cien por cien eléctrico está libre de emisiones. Por tanto, esta situación es a día de hoy imposible.

<sup>87</sup> En este sentido pueden verse las emisiones específicas en el capítulo anterior.

**TABLA 25. Desglose de las líneas de actuación de la Meta 2 *Caminar hacia un transporte sin emisiones*, de la Estrategia de Cambio Climático**

Líneas de actuación	Acciones <sup>88</sup>	Efecto directo sobre las alternativas tecnológicas en el transporte de pasajeros por carretera
Potenciar la intermodalidad y los modos de transporte con menores emisiones de GEI	Desarrollo de la nueva Red Ferroviaria de la CAPV para el transporte de pasajeros y mercancías.	No
	Potenciación del corredor atlántico de mercancías (Trans-European Transport Networks – TEN-T).	No
	Implantación de plataformas logísticas que fomenten el uso del ferrocarril y del transporte marítimo de mercancías (comenzando por Jundiz, Pasaia-Irún y Arasur).	No
	Creación y/o ampliación de redes de metro, tren, tranvía y autobús, logrando la consecución del billete único para el transporte público municipal e interurbano de toda CAPV.	Sí
	Fomentar el desarrollo de planes de movilidad sostenible a nivel comarcal, urbano y en los diferentes centros de actividad.	Sí
Sustituir el consumo de derivados del petróleo	Generalización de modos de transporte con menos emisiones de GEI (vehículo eléctrico, vehículos a gas natural <sup>89</sup> , bicicleta, etc.) a través del apoyo económico y de medidas de discriminación positiva como la exención en el pago de la OTA a vehículos que no sean de combustión interna, reducción del impuesto sobre el vehículo de tracción mecánica, etcétera.	Sí
Integrar criterios de vulnerabilidad y de adaptación en infraestructuras de transporte	Identificar y monitorizar las infraestructuras de transporte vulnerables para detectar necesidades de redimensionamiento y mantenimiento.	No
	Impulsar la innovación en el diseño de soluciones para aumentar la resiliencia de las infraestructuras de transporte.	No

Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno Vasco, 2015b).

Esta Meta 2 dispone del siguiente presupuesto dedicado. Se parte de la cuantía asignada en 2016, con un incremento medio anual del 2% aproximadamente hasta el año 2020.

**TABLA 26. Presupuesto dedicado a la Meta 2 (€)**

2016	2017	2018	2019	2020	Acumulado
13.124.582	13.387.073	13.654.815	13.927.911	14.206.469	68.300.850

Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno Vasco, 2015b).

Nota: Sólo contempla las partidas del Gobierno Vasco en materia ferroviaria.

La Meta 2 representa la tercera asignación en importancia. Supone el 16% del presupuesto total de la Estrategia, que en su conjunto alcanza los 84.538.078€ en 2016 (439.939.552€<sup>90</sup> de presupuesto acumulado en 2020).

<sup>88</sup> Es importante el efecto en la pérdida de captura de CO<sub>2</sub> que estos van a representar (talas de árboles, urbanización del terreno, consumo de combustibles fósiles, etc.) y que debe anualizarse en un horizonte de unos 50 años para ver la reducción de emisiones anuales que suponen estas acciones.

<sup>89</sup> Debe señalarse que la verdadera ventaja del gas natural vehicular está en que permite reducir emisiones contaminantes (con efecto sobre la salud), más que una reducción de GEI.

<sup>90</sup> La aplicación de esta Estrategia llevaría a los siguientes beneficios: creación de 1.030 empleos totales brutos anuales (a lo largo de 5 años); 57 millones de euros de actividad económica en la CAPV;



Asimismo cabe considerar el caso de la Meta 9, Administración vasca responsable, ejemplar y referente en cambio climático, que contiene una línea sobre sensibilización, formación e información a la ciudadanía en materia de cambio climático, y que contempla en uno de sus puntos la campaña de comunicación en relación con la energía, transporte, agua y salud, y que implica un apoyo para cumplir con los objetivos mencionados. Esta representa un 3% del presupuesto total de la Estrategia.

#### ***Apoyo a las medidas***

En la CAPV, el Ente Vasco de la Energía (EVE) publicó en 2016 una serie de incentivos económicos para la adquisición de los vehículos de energías alternativas, bajo la forma de un Programa de Ayudas a Inversores en Transporte y Movilidad Eficiente.

Las ayudas tienen carácter anual lo que, hasta cierto punto, no ofrece certeza a medio plazo a los potenciales compradores de vehículos de combustibles alternativos, al igual que a la parte de oferta del mercado. Por ello la elaboración de programas de ayudas plurianuales sería conveniente.

Los incentivos del EVE contemplan cinco medidas diferentes: adquisición de vehículos y material móvil; instalación de infraestructuras de recarga (vehículo eléctrico y combustibles alternativos); promoción de la bicicleta como medio de transporte; gestión de flotas de transporte y proyectos piloto y actuaciones singulares. Cada una de ellas está dividida en líneas que describen la actuación para cada tipo de vehículo (EVE, 2016).

Las dos primeras medidas son las que más impacto pueden tener en el desarrollo de los combustibles alternativos. Se establecen condiciones para la selección de los beneficiarios de las ayudas, tales como límites de emisión de CO<sub>2</sub> por kilómetro, autonomía mínima o mínimo de densidad energética de las baterías, para los casos de híbridos enchufables, así como límites a las ayudas para los vehículos de gas convertidos. También se delimita la subvención a la instalación, al excluir elementos como el contador inteligente, que en cualquier caso es obligatorio<sup>91</sup>.

---

reducción de la factura energética anual de hasta 55 millones de euros; y reducción de entre 12 y 32 millones de euros por año en gastos de salud por contaminantes atmosféricos.

<sup>91</sup> Para más información ver anexo 3.

### III. INTRODUCCIÓN DE LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL TRANSPORTE. APLICACIÓN EN LA CAPV

#### 4. LAS ENERGÍAS ALTERNATIVAS EN EL TRANSPORTE

En este capítulo se presentan las alternativas con más posibilidades de implantación a corto plazo, desde un punto de vista técnico y económico. Los aspectos económicos, además del coste de los vehículos, incluyen también los de las infraestructuras. Las alternativas contempladas son el vehículo eléctrico, el de gas natural y el de GLP.

Se considera que estos tienen, cada uno de ellos, entidad suficiente como para que el análisis de los mismos tenga relevancia, a diferencia de lo que sucede con los de biocombustibles e hidrógeno, también considerados combustibles alternativos en la Directiva 2014/94/UE (DAFI).

En lo que se refiere a los biocombustibles, estos tienen una normativa específica importante y significativa para su desarrollo, sin embargo no requieren ni vehículos ni infraestructura específica y su uso está ligado al de los combustibles convencionales; por ello no se analizan específicamente en este informe. En cualquier caso, se consideran sus aspectos básicos en el apartado 4.1, así como sus implicaciones en cuanto al grado de penetración, que se examina en el apartado 5.3.

En el caso del hidrógeno, como combustible alternativo, se prevé un desarrollo tecnológico y una eventual penetración a más largo plazo. Es por ello que tampoco se considera específicamente en los cálculos de este informe, pero sus aspectos básicos pueden verse en el anexo 4.

#### 4.1. Aspectos técnicos básicos

##### 4.1.1. Vehículos eléctricos

La electrificación de los transportes, en especial el vial y el ferroviario, es una prioridad para la Comisión Europea con vistas a la reducción de la dependencia energética del exterior y a la descarbonización de la economía.

El Marco de Acción Nacional (MAN) define el vehículo eléctrico como *aquel propulsado total o parcialmente por un motor eléctrico que utiliza la energía química guardada en una o varias baterías recargables por una fuente de alimentación externa*. Además, los vehículos eléctricos pueden ir equipados con sistemas de frenos regenerativos, para la recarga de la batería en los momentos de desaceleración y frenado.

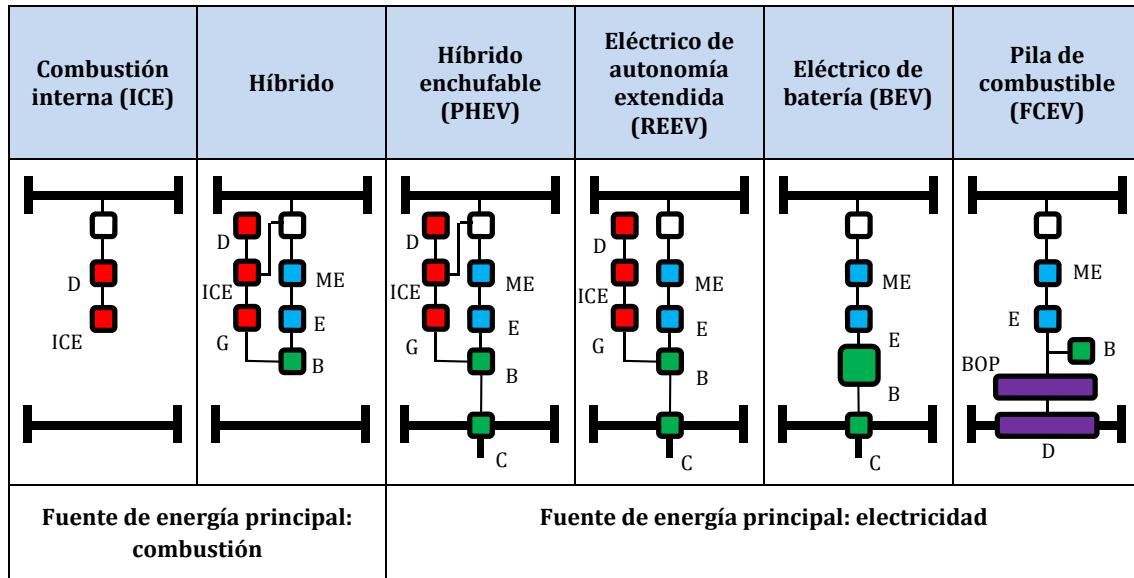
El MAN incluye los vehículos eléctricos de batería (BEV o *battery electric vehicle* en inglés), los vehículos eléctricos de autonomía extendida<sup>92</sup> (REEV *range extended electric vehicles* en inglés), los vehículos híbridos enchufables (PHEV o *plug-in hybrid*

---

<sup>92</sup> Se verá en el capítulo 5 que de estos tres tipos, el REEV es el que menos capacidad de penetración está demostrando en las matriculaciones de los últimos años, de manera que no se considera en los cálculos.

electric vehicle en inglés) así como los de pila de combustible, pero excluye los vehículos híbridos<sup>93</sup> (HYB o *hybrid electric vehicle*) y las bicicletas eléctricas.

**TABLA 27. Tipos de vehículos (combustión interna y eléctrico) y sus principales componentes**



□ Transmisión ■ Combustión interna ■ Electricidad ■ Batería ■ Pila de combustible

D: depósito; ICE: motor de combustión interna; G: generador; ME: motor eléctrico; E: electrónica; B: batería; C: conector de la batería; BOP: *balance of plant* o paquete eléctrico (varios componentes necesarios como humidificador, bombas, válvulas, compresor, etc.).

Fuente: reelaborado de (McKinsey & Company, 2014).

Este estudio se centrará, en los siguientes tipos de vehículos eléctricos, si bien en el capítulo 5, también se considerará el caso del híbrido, pues a pesar de no ser un vehículo de energía alternativa, su capacidad para reducir el consumo energético y las emisiones de GEI hacen de esta tecnología un medio de transporte que sin duda se ha de considerar.

La electrificación de los vehículos presenta algunas limitaciones. La principal limitación es la autonomía del vehículo.

**TABLA 28. Tipos de vehículos eléctricos contemplados en este trabajo**

Tipo de vehículo	Propulsión	Autonomía eléctrica
Vehículo eléctrico puro o de batería (BEV)	Totalmente a partir de baterías cargadas con electricidad obtenida de la red	120-300 km <sup>94</sup>
Vehículo híbrido enchufable (PHEV)	Combinación de propulsión con baterías cargadas con electricidad obtenida de la red y propulsión térmica convencional	15-50 km

Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno de España, 2016).

<sup>93</sup> En la misma línea que el MAN, en este estudio no se considera el Hyb como un vehículo “eléctrico”, de manera que en adelante se hablará únicamente de “híbridos” para los Hyb (entendiéndose que son “no enchufables”).

<sup>94</sup> Si bien existen modelos que superan esa autonomía, aunque la mayoría de los más comercializados se encuentra en este rango.

Por otro lado, el precio y el rendimiento de las baterías, que por su repercusión en el precio de los vehículos, reduce la competitividad de la tecnología. Otro obstáculo es la escasez de infraestructura, que no se desarrolla al no aumentar la venta de vehículos (siendo a su vez esto causante de que dichas ventas no despeguen). Además, requiere una generación eléctrica basada en un *mix* de generación, con un peso elevado de las fuentes renovables como única manera de lograr que el vehículo eléctrico tenga un impacto ambiental positivo en relación al calentamiento global.

Por tanto, la autonomía, el rendimiento de la batería y su coste son algunos de los condicionantes principales para el desarrollo de la movilidad eléctrica.

Son varias las características que se han de atender, tales como ciclos de vida largos para tiempos de recarga cortos, seguridad, la capacidad de reciclaje y su precio<sup>95</sup> (sobre lo que se volverá más adelante en el apartado 4.2) junto con el aumento de la energía específica (Wh/l) o la potencia específica por unidad de peso (W/kg) son también factores importantes<sup>96</sup>.

Por ello, la investigación se centra en lograr duplicar la autonomía y, al mismo tiempo, reducir el precio al cincuenta por ciento. Además, la investigación trata también de conocer qué parámetros reducen la vida útil de las baterías. Así, la descomposición de tipo química de los materiales interiores conduce a una reducción de la capacidad que ocurre simultáneamente con un aumento de la resistencia interna. De esta manera, es necesario estudiar el número de ciclos que soporta la batería antes de degradarse<sup>97</sup>, lo que se puede hacerse mediante cargas y descargas sucesivas bajo distintas condiciones. Sin embargo, el exceso de variables que intervienen requiere que los estudios tengan carácter experimental (Patey et al., 2016).

#### ***Sobre el parque de vehículos eléctricos***

A nivel mundial, en 2015 se alcanzó la cifra de 1,26 millones<sup>98</sup> de vehículos (AIE, 2016b). El progresivo desarrollo del vehículo eléctrico a nivel global tendrá sin duda un impacto en la demanda de petróleo, pero tardará en reflejarse debido al crecimiento del transporte de mercancías y vehículos convencionales, sobre todo en países no OCDE<sup>99</sup>. Así, no se espera que el consumo de gasolina de automoción

<sup>95</sup> Los precios de las baterías hoy en día se sitúan en torno a los 500 \$/kWh, lo que encarece el vehículo eléctrico.

<sup>96</sup> El objetivo en el desarrollo de las baterías es el de alcanzar los 200 Wh/kg.

<sup>97</sup> El efecto Joule es la forma principal de pérdida de energía, fundamental para determinar las temperaturas en núcleo y pared de la celda de la batería y realizar modelos precisos.

<sup>98</sup> Incluye BEV, PHEV y vehículos de pilas de combustible (FCEV o *fuel-cell electric vehicles* en inglés), aunque en el Global EV Outlook 2016, la Agencia Internacional de la Energía sólo considera los dos primeros para su estudio, al igual que este trabajo.

<sup>99</sup> De hecho, la AIE en su *Oil Medium-Term Market Report* considera que la disminución provocada por el cambio de combustibles (hacia gas natural, energía nuclear, carbón y renovables) será de aproximadamente 2 mb/d en 2020, principalmente debido a los sectores del transporte y de generación eléctrica. Este informe da al gasóleo un 30% de peso sobre la demanda de crudo de los países no OCDE y un 20% a la gasolina (AIE, 2015). Algunos autores señalan que en Europa, entre los años 2020 y 2025, el impacto de la penetración de vehículos eléctricos e híbridos enchufables podría

comience a decaer hasta 2021 (Navigant Research, 2014), como pronto, o incluso hasta dentro de quince o veinte años según la literatura (Barnard, 2015). Otros autores consideran, sin embargo, que el desarrollo de la tecnología no tendrá un impacto significativo hasta dentro de diez años (Unger, 2015).

En España, según la DGT, hay más de 18.000 vehículos eléctricos, de los cuales el 37% son turismos y cuya composición es de un 87% de BEV, 11% de híbridos enchufables (PHEV) y un 2% de eléctricos con autonomía extendida (REEV) (Gobierno de España, 2016).

En la CAPV, el número de vehículos que circulan por sus carreteras de este tipo es inferior a lo previsto por Gobierno autonómico a finales de la década pasada. En 2014 había en torno a 400 unidades circulando (Gobierno Vasco, 2016), mientras que lo planificado para 2020 es de 41.000 unidades o el 10% de las ventas<sup>100</sup> (EVE, 2013a). En la Estrategia 3E-2030, no se ha modificado este objetivo del 10% de las ventas.

### **La industria del vehículo eléctrico**

Respecto a la meta relativa al porcentaje de ventas anterior, la Comunidad Autónoma cuenta con una Estrategia para la Introducción del Vehículo Eléctrico, mencionada en el capítulo anterior. En este aspecto se destacan varias iniciativas, entre ellas la creación de la compañía IBIL, que se tratará en el apartado sobre infraestructuras del vehículo eléctrico.

También se encuentra el acuerdo entre el Departamento de Industria, Innovación, Comercio y Turismo con Mercedes Benz España, con el objetivo de adaptar las instalaciones de la fábrica que la compañía tiene en Vitoria para iniciar la producción de un vehículo eléctrico, de nombre Vito E-Cell, a partir de 2010. Ello implicaba la ejecución de otros proyectos relacionados con componentes para uso en este sector. Sin embargo, desde 2013 su producción se encuentra paralizada, ya que la compañía alemana está a la espera de que crezca la demanda<sup>101</sup>.

Otra iniciativa a destacar es la del fabricante de autobuses Irizar, cuya división de electromovilidad alcanzó los 552 millones de euros en 2015 y cuenta con alrededor de veinte autobuses eléctricos en circulación en Londres, París, Barcelona y otras ciudades, y ha realizado una inversión de 75 millones de euros para una planta en Aduna, sumándose a la de Ormaiztegui (ambas en Gipuzkoa) que podrá alcanzar una

---

suponer una disminución del 2% de la demanda de productos petrolíferos y un 6% de la demanda global entre los años 2020 y 2035.

<sup>100</sup> Vehículos de batería o híbridos enchufables.

<sup>101</sup> En esa misma línea de fabricación de modelos en el territorio, la CAPV destacó en 2012 por la presentación de un modelo de fabricación y marca propia. Bautizado como *Hiriko*, fue un proyecto impulsado para ser fabricado en Álava, utilizando tecnología diseñada en el MIT, apoyado por un consorcio de siete firmas de la Comunidad Autónoma. Aunque atrajo la atención internacional, la iniciativa no pudo superar los contratiempos técnicos y financieros.

Noruega en su día también apostó por el desarrollo del vehículo “propio”, los modelos *Th!nk* y *Buddy*, que no fueron capaces de superar la fase de mercado en su momento.

capacidad de fabricación de dos autobuses de pasajeros y un vehículo industrial eléctrico al día (Ormazabal, 2016).

En los próximos años se espera una importante nueva oferta, dado que la mayoría de los fabricantes tiene proyectos eléctricos (ACICAE/Expansión, 2017). A modo de ejemplo se pueden mencionar algunos modelos eléctricos que actualmente están entre los más vendidos en Europa, como el Nissan LEAF o el Renault ZOE, y que presentarán renovaciones en sus diseños que permitirán una mayor penetración en el mercado, así como autonomías entre los 350 y 400 kilómetros. Se podrán alcanzar los 500 kilómetros en proyectos de compañías como Audi o Mercedes, entre otras, que buscan competir con Tesla (Noya, 2016).

Cabe mencionar la bicicleta eléctrica, o bicicleta de pedaleo asistido, como segmento del vehículo eléctrico con alto potencial de aplicación en el entorno urbano. Consiste en una bicicleta a la que se le acopla un motor eléctrico para el movimiento de la rueda trasera, y que va acompañado de una batería y un sistema de control. Estos complementos pueden incorporarse directamente en el modelo salido de fábrica, o bien en forma de *kit* que vende el fabricante para su posterior instalación en una bicicleta tradicional, así como disponer de distintos tipos de recarga, mediante enchufe, regeneración en la frenada o usando un panel solar. En los modelos urbanos se puede hablar de autonomías medias de entre 40 y 120 km con precios entre 670 y 3.300 € (Electromaps, 2016)<sup>102</sup>.

En los países europeos<sup>103</sup> la bicicleta eléctrica tiene limitada la potencia a 250 W y su velocidad a 25 km/h para que no se considere ciclomotor ligero (Ibáñez, 2014a). En el caso de España se incluyen características técnicas, como que la batería sea de litio y el cumplimiento de la norma UNE-EN 15194:2009, exigibles para las concesiones de ayudas a la compra (BOE, 2015a).

#### 4.1.2. Gas licuado del petróleo (GLP)

El gas licuado del petróleo (GLP), también denominado en ocasiones *autogás*<sup>104</sup> si se aplica como combustible de automoción, consiste en una mezcla de propano y butano en distintas proporciones, que está estrechamente relacionado con la producción de petróleo y de gas natural, de donde es posible separarlo de forma comercialmente viable. Al igual que en el caso del gas natural, el GLP es aplicable en

<sup>102</sup> A modo de ejemplo, en la CAPV hay unidades en venta que alcanzan autonomías de 70-100 km con precios superiores a los 1.000 €, pero que pueden tener descuentos de prácticamente un 40%, situándose en el entorno de los 750 € (febrero de 2017).

<sup>103</sup> En el caso de Bilbao, se anunció en la Semana Europea de Movilidad que se dispondrá de unidades eléctricas en el servicio municipal de préstamo de bicicletas, para lo cual ya se ha llevado a cabo una prueba piloto (Bi Aste, 2016).

<sup>104</sup> El término *autogás* en ocasiones se vincula a Repsol como marca comercial, probablemente debido a que ha sido el principal impulsor del desarrollo del GLP en España en los últimos años. Sin embargo, es ampliamente utilizado hoy en día por diversas comercializadoras (Cepsa, Galp, etc.) y por la Asociación de Operadores de GLP (AOGLP). Por tanto, en este trabajo se menciona como término generalmente aceptado en el sector.

vehículos con motores de combustión interna (ICE por sus siglas en inglés) de ciclo Otto (motores de gasolina).

El uso del GLP ha estado limitado, a la conversión de los motores convencionales de gasolina a vehículos bifuel: gasolina y GLP, en talleres autorizados al no existir, en principio, una producción significativa de vehículos de este tipo. Por tanto, al ser un tipo de combustible cuya implantación ha dependido, en gran parte, de la transformación posventa, siendo los vehículos originales del fabricante bifuel, y al no haber comunicación por parte de las estaciones de ITV del número de vehículos de este tipo, no parece existir un registro fiable sobre cuántas conversiones se realizan anualmente.

Para evitar esta situación, la DGT ha empezado a exigir la comunicación por parte de los particulares a cambio de adjudicar etiquetas ecológicas por los beneficios que implican.

Con todo, la DGT contabilizó algo más de 8.000 vehículos (89% turismos) en junio de 2016. Según la AOGLP, en 2015 había 50.000 vehículos en España (Gobierno de España, 2016), con 553 puntos de recarga (AOGLP, 2017). En la CAPV el sector está poco desarrollado, aunque existen 28 puntos de recarga. En 2014 se estimaba que había 1.500 vehículos, con 50 talleres dedicados a la transformación (Igea, 2014).

Actualmente existe oferta de vehículos originales (ej. SEAT y Volkswagen). Hay incluso fabricantes de otros vehículos de GLP, vehículos *off-road* (ej. Maquinaria de aeropuertos).

#### 4.1.3. Gas natural vehicular (GNC y GNL)

Una característica importante del gas natural es que es aplicable en motores de combustión interna con ciclo Otto, de gasolina, con ignición por chispa, e incluso en los ciclo diésel, de ignición por compresión, mezclado con al menos un 5% de diésel. Su composición, mayoritariamente de metano (70-90%), incluye porcentajes menores de etano, nitrógeno y CO<sub>2</sub> y pequeñas cantidades de hidrocarburos superiores al etano como el propano o el butano. El contenido de estos últimos depende del origen del gas y de la forma de transporte. Es un combustible de tecnología suficientemente probada cuyas reservas son mayores que las de petróleo y más sostenible<sup>105</sup> que los combustibles convencionales.

No existe, hasta el momento, un estándar europeo para el gas natural como combustible para el transporte, similar al del diésel (EN 590), gasolina (EN 228) o GLP (EN 589), aunque se encuentran en desarrollo y pendientes de aprobación, como se puede ver en la siguiente tabla. Esta situación es relevante ya que el diseño de los motores y la determinación de consumos y emisiones deben estar basados en un combustible de composición estándar.

---

<sup>105</sup> Por sostenible puede entenderse como aquello que se puede mantener sin agotar los recursos o causar un grave daño al medio ambiente. Se trata de un término relativo y sujeto a numerosos criterios e interpretaciones.

**TABLA 29. Estándares del gas natural en desarrollo**

Estándar	Descripción
CEN TC/408 (parte 1)	Especificaciones del biometano para ser inyectado en la red de gas natural
CEN TC/408 (parte 2)	Especificaciones de gas natural para automoción
ISO/Dis 16923	Estaciones de GNC para el llenado de vehículos
ISO/Dis 16924	Estaciones de GNL para el llenado de vehículos

Fuente: elaboración propia a partir de (CEN, 2016) e (ISO, 2016).

Un elemento a destacar en la utilización de este combustible en el transporte es cómo se almacena en el depósito del vehículo. Como se ha comentado, existen dos grandes grupos: los de gas natural comprimido (GNC), si se almacena comprimido en el depósito, y los de gas natural licuado (GNL), se almacena en forma líquida.

En el primer caso, la presión de almacenamiento es del orden de 200 a 250 bar, instalándose estos depósitos en la parte trasera, en el techo del vehículo. En cuanto al gas natural licuado, las condiciones necesarias son de entre 6 a 10 bar y temperaturas de  $-160^{\circ}\text{C}$ . El GNL se vaporiza para usarse en el motor. Esto implica, en el segundo caso, menores dimensiones y un menor peso del depósito, si bien el material requerido para soportar esta temperatura encarece de forma significativa el coste para un vehículo pequeño, por lo que el uso de GNL se restringe, hoy por hoy, a vehículos con grandes tanques de combustible como camiones.

Existen diferentes tipos de vehículos de gas natural, que se recogen en la tabla siguiente.

**TABLA 30. Tipos de vehículo de gas natural**

Tipo de vehículo	Descripción
Mono-fuel, monovalentes o dedicados	Gas natural como único combustible, con optimización para este.
Bifuel o bivalente	Cualquier combustible a utilizar indistintamente, por lo que existen dos depósitos diferentes. Se suele favorecer el funcionamiento con gas natural de manera automática.
Dual-fuel o de combustión dual en transporte pesado	Introducción de diésel en la cámara de combustión directamente para permitir la ignición, mientras el gas natural entra con el aire de admisión o inyección directa <sup>106</sup> .
Tri-fuel o tri-combustibles (flexi-fuel)	Combinación de reciente aplicación, que combina de manera flexible gasolina o etanol con gas natural.

Fuente: elaboración propia a partir de (FITSA, 2015).

En España, según la DGT, la flota era de 4.366 unidades en junio de 2016 (95% de GNC y 5% de GNL), aunque, al igual que ocurre con el GLP, las transformaciones en talleres no se contabilizan siempre, de manera que el total de vehículos rondaría los 5.056 vehículos en diciembre de 2015 según GASNAM (Gobierno de España, 2016).

#### **La industria del vehículo a gas natural**

Cabe mencionar la existencia de un proyecto nacional, conocido como SMART Green Gas, para la generación de biometano a partir de los lodos de los procesos de

<sup>106</sup> Bujía líquida.



depuración aguas residuales, que cuenta con un presupuesto de ocho millones de euros y es desarrollado en una planta de Jerez de la Frontera por un consorcio formado por Seat, Aqualia, Gas Natural Fenosa, Biogas Fuel Cell, Diagnostiq, Dimasa Grupo y Ecobiogas (EDP, 2016) o el caso de Madrid en donde se realiza la captación del biometano producido por fermentación de residuos sólidos urbanos, su tratamiento y purificación para ser utilizado en los camiones de recogida de basuras.

Este combustible, biometano o biogás, tiene un importante desarrollo en países europeos como Alemania, Austria Italia, en donde existe un gran número de instalaciones de producción.

#### **Desarrollo a futuro**

El gas natural, en especial como GNL puede ser utilizado por todos los modos de transporte, lo que le confiere grandes posibilidades de desarrollo futuro. El uso del gas natural en el transporte tiene halagüeñas perspectivas en aplicaciones del GNL en trenes de pasajeros y en buques. Un ejemplo reseñable es el de la aplicación del GNL en trenes, para el que España lleva desarrollando un proyecto<sup>107</sup> de cuatro años, que se espera vea la luz en líneas de corta distancia (10 o 20 kilómetros). Está calificado como “innovador” a nivel europeo, a pesar de otras experiencias en otros países con ferrocarriles de mercancías (Raso, 2016).

En el caso del transporte marítimo, se emplea como consecuencia de los requerimientos de utilización de combustibles con contenido de 0,1% como máximo de azufre en las áreas SECA (*Sulfur Emission Control Area*), declaradas por la Organización Marítima Internacional (OMI), actualmente en el Mar del Norte y el Báltico. Igualmente la UE requiere la utilización, en sus aguas territoriales y en los puertos, de combustibles marinos de 0,1% de azufre<sup>108</sup>.

Adicionalmente, se ha aprobado un límite global de 0,5% de azufre en los combustibles marinos a partir de 2020, en el caso de existencia en el mercado de suficientes cantidades de combustibles de estas características, o 2025 de no ser así. Dado que estas especificaciones sólo pueden ser satisfechas por gasóleos, y siendo el GNL más barato que estos, el transporte marítimo ofrece un mercado importante para el desarrollo de la utilización del gas natural.

Actualmente no tiene una presencia importante en el transporte marítimo, pero se estima que para 2021 reemplazará 0,3 millones de barriles al día de combustibles basados en el petróleo. En cualquier caso, deberá superar diversos obstáculos como

<sup>107</sup> El consorcio encargado está formado por Enagás, Gas Natural Fenosa y Renfe.

<sup>108</sup> Según la Agencia Internacional de la Energía, si en base a los requerimientos de la OMI para la desulfuración, la legislación de los combustibles se vuelve más estricta en relación con el NO<sub>x</sub> y con las partículas como en el transporte terrestre, sería necesaria la instalación de depuradores o lavadores de gases. Sin embargo, por distintas circunstancias, estos pueden no resultar prácticos o económicamente viables, de manera que el GNL supone la principal alternativa (AIE, 2016c). Además, no resulta posible realizar una reducción catalítica de NO<sub>x</sub> si se utiliza fueloil como combustible.

una legislación poco desarrollada, infraestructura por el momento incipiente, dificultades técnicas a bordo y los precios bajos del crudo (AIE, 2016c).

#### **4.1.4. Biocombustibles**

Normalmente se entiende por biocombustibles los combustibles líquidos o gaseosos derivados de la biomasa, por cualquier proceso, bien sea termoquímico o microbiológico, usados en el transporte. Inicialmente se consideraron exclusivamente los líquidos, pero actualmente con el desarrollo de los vehículos a gas natural, se incluye también el biogás.

El desarrollo de los biocombustibles se inició a mediados de los años 70 con la primera crisis del petróleo, principalmente en Brasil y Estados Unidos, con objeto de reducir costes y asegurar un suministro interno. Se invirtieron grandes cantidades de dinero en investigación para mejorar los procesos de producción, principalmente de etanol para mezclar con la gasolina, y desarrollar otros nuevos a partir de residuos agrícolas. La caída de los precios del petróleo a mediados de los años 80 frenó el esfuerzo investigador y productor, salvo en Brasil en donde se continuó con la mezcla de etanol en la gasolina.

En los años 90 resurgió la industria de los biocombustibles impulsada por la prohibición del uso del MTBE (metil-ter-butil-eter) como optimizador del índice de octano en gasolinas y su sustitución por etanol, en Estados Unidos.

En la UE, que no se acogió a esa prohibición, este aditivo se sustituye por ETBE (etil-ter-butil-eter). Por otro lado, la UE impulsa el uso de los biocombustibles en el transporte con objeto de mejorar la seguridad de suministro, reducir la dependencia del petróleo, impulsar el desarrollo rural y facilitar el cumplimiento de las obligaciones de reducción de emisiones del protocolo de Kioto.

Los biocombustibles se han desarrollado con el objetivo de sustituir, al menos parcialmente, a los combustibles procedentes del petróleo. Por tanto, están orientados a reemplazar a las gasolinas (el etanol) y al diésel (el biodiésel). Ambos etanol y biodiésel constituyen los biocombustibles principales, obtenidos inicialmente a partir de semillas vegetales que compiten en el uso con el mercado de alimentario y, posteriormente, a partir de residuos mediante nuevos procesos.

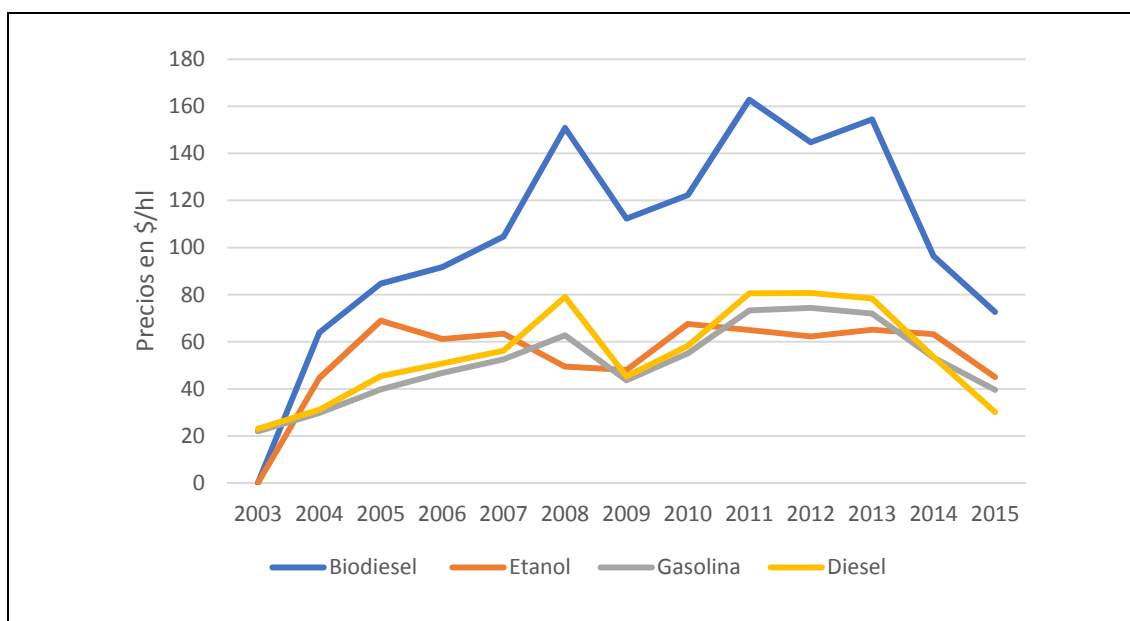
En la actualidad, además de Brasil que ha impulsado el uso del bioetanol procedente de la caña de azúcar, los principales impulsores de los biocombustibles son Estados Unidos y la UE. Sin embargo, han desarrollado estrategias diferentes. Estados Unidos, con un mercado mayoritario y deficitario en gasolinas, impulsó el uso del etanol procedente del maíz, mientras que la UE con un mercado con un peso creciente del diésel ha impulsado preferentemente el biodiésel procedente de aceites vegetales.

Los biocombustibles tienen la ventaja de poder mezclarse con los combustibles convencionales gasolina y diésel y, en general, no requieren un sistema específico

de distribución. No obstante, su contenido energético es inferior, 60% en el caso del etanol respecto a la gasolina y 85% en el caso del biodiesel respecto al diésel, por lo que su consumo como tales acarrearía pérdidas de eficiencia y problemas en la operatividad de los vehículos. La Directiva europea 98/70/CE sobre la calidad de combustibles para el transporte, enmendada por la Directiva 2009/30/CE, limita el contenido de etanol en la gasolina a un 10% en volumen y a un 7% el de biodiesel<sup>109</sup> en los combustibles europeos para los que los vehículos del mercado europeo están preparados<sup>110</sup>. Por ello, los biocombustibles, como tal, no pueden ser considerados combustibles europeos para el transporte, sólo serían componentes a utilizar mezclados con los derivados del petróleo.

Además, los biocombustibles son más caros que los derivados del petróleo. Solo el etanol producido en Brasil a partir de caña azúcar, más barato que el producido a partir de remolacha o de maíz, tiene precios próximos a la gasolina. Sin embargo, el biodiesel mantiene su diferencial de precio con el diésel. Por tanto, la mezcla de biocombustibles con los convencionales requiere de incentivos o de un mandato (obligación) legal.

### GRÁFICO 30. Evolución de los precios del etanol y del biodiesel respecto a la gasolina y el diésel



Fuente: elaboración propia a partir de (OECD-FAO, 2016).

<sup>109</sup>Los aceites vegetales hidrogenados (HVO) pueden añadirse en cualquier proporción, al igual que los aceites residuales tratados e hidrogenados en las refinerías conjuntamente con los derivados del petróleo

<sup>110</sup> Como “combustibles europeos” se entiende aquellos que se venden en las estaciones de servicio sin un marcado especial. Cualquier otro combustible que no cumpla las especificaciones de la Directiva 2009/30/CE tiene que ser marcado en el punto de venta. Por otro lado, los fabricantes no garantizan la operatividad de los vehículos que utilicen combustibles distintos de los especificados en la Directiva 2009/30/CE.

La UE ha establecido mandatos de mezcla en la Directiva 2003/30/CE, enmendada por la Directiva 2009/28/CE, sobre el fomento de las renovables, que establece la obligación de alcanzar un 10% de contribución de energías renovables (biocombustibles y electricidad) en conjunto de todas las energías consumidas en todos los tipos de transporte<sup>111</sup>.

En resumen, los biocombustibles, como tales, no pueden considerarse como un grupo independiente de combustibles alternativos, son componentes de mezcla para gasolinas y gasóleos, para las que existen limitaciones técnicas de contenidos máximos. Sin embargo, la legislación europea mantiene el mandato de contribución del 10% de energía renovable en la energía consumida en todos los tipos de transporte, y dado que la energía eléctrica, en general, tiene una contribución renovable superior al 10% (40% en España), apoya indirectamente la electricidad como alternativa.

#### 4.2. Aspectos económicos

En este apartado se tratan los aspectos económicos relativos a la penetración de vehículos alternativos en el transporte, distinguiendo los de infraestructuras (recarga del vehículo eléctrico, estaciones de GNC y GLP) de los relativos al vehículo.

En este caso hay que considerar dos elementos básicos, el precio del vehículo y el coste del combustible, y ello para los vehículos convencionales (diésel y gasolina fundamentalmente) tomados con referencia y para los “alternativos” (eléctricos, GNC, GLP).

El precio del vehículo y el coste del combustible, junto con otros costes de utilización (seguros y otros) se sintetizan en el coste total de utilización para el propietario<sup>112</sup>, *total cost of ownership* (TCO, en sus siglas en inglés) que se verá más adelante.

Con el fin de conocer qué pasaría si costes o precios fuesen diferentes a los elegidos, se llevan a cabo varios ejercicios básicos de sensibilidad, los cuales permiten evaluar las implicaciones económicas de los diferentes supuestos.

A continuación se examinan las infraestructuras (existentes y futuras) y el TCO, para los diferentes tipos de vehículos que se contemplan en este estudio.

<sup>111</sup> Ante la situación de las emisiones de CO<sub>2</sub> provocada por el cambio de uso del suelo (aumento del suelo cultivado para la producción de idénticos productos para alimentación) para el cultivo de materias primas para biocombustibles (cereales, maíz, etc.), la directiva anterior fue modificada de nuevo por la Directiva 2015/1513/UE (DOUE, 2015). Esta directiva limita a un máximo del 7% el contenido máximo de biocombustibles derivados de cereales y de semillas oleaginosas (denominados de primera generación). Por otro lado, relaja las condiciones de cumplimiento del mandato del 10% de contribución de las energías renovables en el transporte, permitiendo multiplicar por cinco la contribución renovable de la electricidad consumida por los vehículos eléctricos y por dos la de los biocombustibles (biocombustibles de segunda generación) derivados de residuos agrícolas e industriales. En los biocombustibles derivados de residuos agrícolas o industriales puede incluirse el biogás utilizado por el vehículo a gas.

<sup>112</sup> La traducción literal de *total cost of ownership* podría ser *coste total de la propiedad*, pero al entenderse en este informe que el uso y la circulación influyen también en su cálculo, se considera más apropiado traducirlo por *coste total de utilización por el propietario*.

#### 4.2.1. Infraestructuras. Puntos de recarga y estaciones de suministro

A continuación se verá la situación actual y el desarrollo necesario en el futuro de las infraestructuras para las distintas alternativas de transporte en la CAPV, así como sus aspectos económicos.

La introducción de nuevas infraestructuras para las energías alternativas implicará cambios, no sólo tecnológicos sino también en los costes del transporte. Se ha de tener en cuenta, por tanto, que la introducción de las energías alternativas y sus consiguientes inversiones suponen un coste adicional al de las infraestructuras actuales. Por ello, es importante considerar que cualquier sustitución conllevará costes que deben ser previstos con antelación, tanto para evaluar las alternativas más convenientes como para hacer propuestas de apoyo a las mismas

Se pondrá mayor énfasis en el análisis de los aspectos relativos a la infraestructura para el vehículo eléctrico y gas natural comprimido, dado que en lo que respecta a los biocombustibles y los GLP, estos presentan las infraestructuras más numerosas.

##### *Vehículo eléctrico*

Aunque el desarrollo de la infraestructura para el vehículo eléctrico ha dado lugar a varios gestores de carga del vehículo eléctrico en España, en la CAPV el más conocido es IBIL (CNMC, 2016), mencionada en el apartado anterior por su implicación en la estrategia para la introducción del Vehículo Eléctrico en la CAPV.

IBIL fue fundada con una participación del 50% de Repsol y del EVE, cada uno como socio estratégico. El objetivo de su creación fue contar en el territorio con un gestor de carga de vehículos eléctricos que pudiese desarrollar una infraestructura adecuada para este tipo de tecnología. Además de desarrollar ampliamente esta infraestructura en la CAPV, ha logrado también exportarla a otros lugares de España.

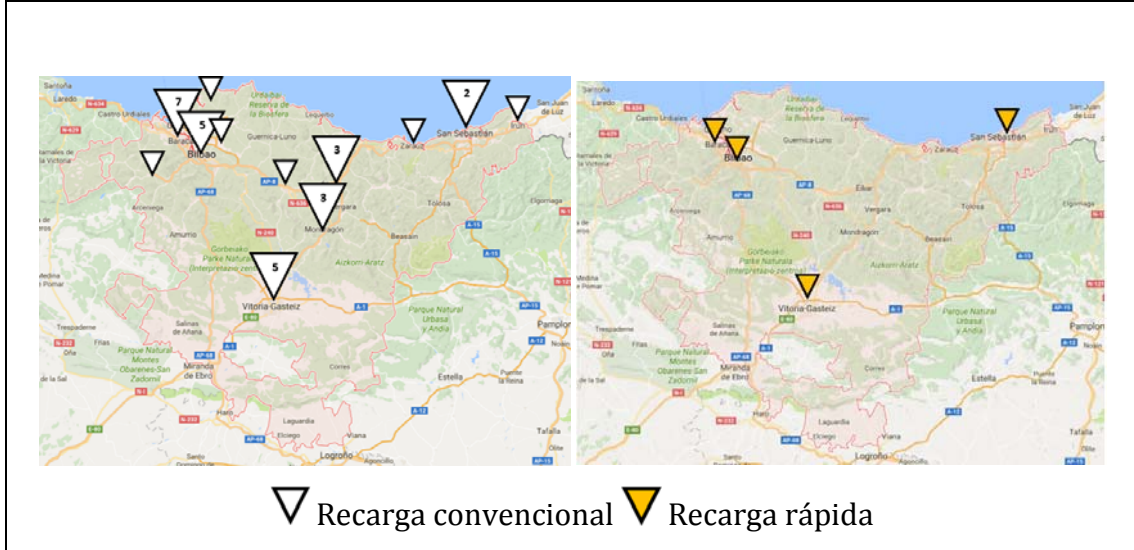
Asimismo, IBIL participa en un proyecto relevante para el vehículo eléctrico en la CAPV, conocido como Azkarga, que está impulsado por un consorcio de empresas vascas del sector de la electrónica y de la gestión de recarga de vehículos eléctricos, las cuales son Ingeteam (líder del proyecto), el Clúster de Energía vasco, EDS, Iberdrola y ZIV, además de la propia IBIL, y cuentan con el asesoramiento de Renault, BMW, Seat y Nissan. El proyecto, iniciado en marzo de 2014, pretendía que a finales de 2016 se hubiera desarrollado un punto de recarga innovador, rápido, inteligente y flexible, orientado al parque mundial de flotas urbanas e íntegramente realizado en la CAPV. Pretendía seguir una progresión de ventas de tal manera que se alcance la comercialización 700 unidades para 2020 (Cluster Energía, 2016).

El resultado del desarrollo progresivo de IBIL en la CAPV (además de otras zonas de España) se aprecia en los siguientes mapas. Cabe reseñar que el número de puntos de recarga rápida es más bajo que el de puntos de recarga convencional.

Si bien la infraestructura pública tenderá a contar con el mayor número posible de cargadores rápidos o incluso ultrarrápidos, el número de cargadores normales siempre será superior, ya que su instalación es más económica y también porque

será el tipo de cargadores más extendido a medida que se desarrolle la carga vinculada por vehículo (donde se realizará el 90-95% de las cargas).

**FIGURA 8. Puntos de recarga convencional (izquierda) y rápida (derecha) en la CAPV gestionados por IBIL**



Fuente: elaboración propia a partir de (IBIL, 2016) y (Google Maps, 2016).

**FIGURA 9. Sistemas de recarga convencional<sup>113</sup> (izquierda) y rápida (derecha) gestionados por IBIL**



Fuente: elaboración propia a partir de (IBIL, 2017).

En total, los puntos de recarga abiertos al público existentes en la CAPV son 77 (73 de carga convencional y 4 de carga rápida), cuyo reparto por municipios es el que se muestra en la siguiente tabla.

<sup>113</sup> Corresponde a la carga semirrápida de Ibil. Su modelo público de menor capacidad es un término medio entre la normal (privada) y la rápida.

**TABLA 31. Distribución por municipios de puntos de recarga abiertos al público en la CAPV**

Provincia	Municipio	Número de puntos públicos de recarga convencional	Número de puntos públicos de recarga rápida
<b>Bizkaia</b>	Abadiño	2	-
	Barakaldo	4	1
	Bilbao	20	1
	Leioa	5	-
	Lemoniz	2	-
	Portugalete	4	-
	Zalla	2	-
	Zamudio	2	-
<b>Gipuzkoa</b>	Arrasate-Mondragón	2	-
	Azkoitia	2	-
	Donostia	6	1
	Eibar	2	-
	Elgoibar	1	-
	Hondarribia	2	-
	Oñati	2	-
	Zarautz	2	-
<b>Álava</b>	Vitoria	13	1
<b>Total CAPV</b>		73	4

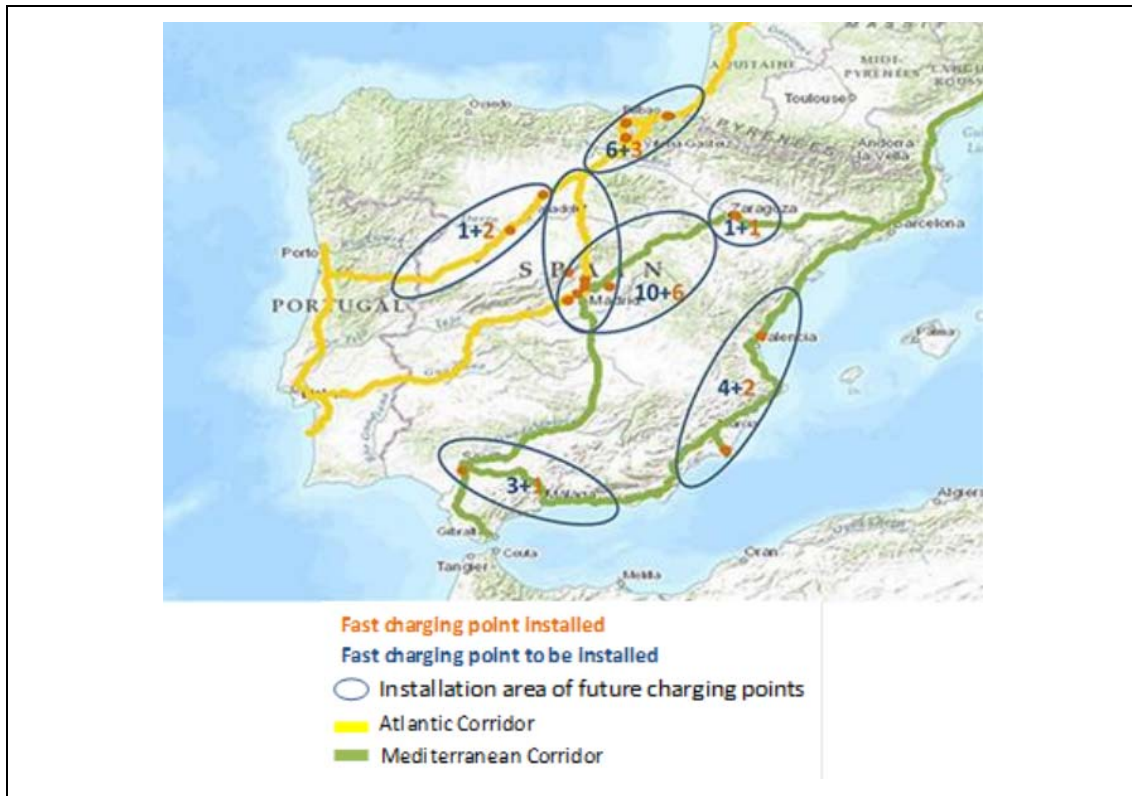
Fuente: elaboración propia a partir de (EVE, 2017).

Nota: Los puntos de recarga rápida de la CAPV están situados en la estación de servicio de Repsol en Megapark (Barakaldo), en Begoña (Bilbao), en la calle Zarautz (Donostia) y en la de Salburua (Vitoria).

Además del proyecto Azkarga, se encuentra el proyecto CIRVE (Corredores Ibéricos de Infraestructura de Recarga Rápida de Vehículos Eléctricos), que está desarrollado por un consorcio formado por ocho socios<sup>114</sup>, e impulsado por los Gobiernos de España y Portugal, para implantar puntos de carga rápida fuera del ámbito urbano, en los corredores Atlántico y Mediterráneo. En la siguiente figura se pueden ver los 25 nuevos puntos piloto de recarga rápida y la conversión de 15 puntos existentes en puntos estratégicos. El proyecto está cofinanciado por el Mecanismo Conectar Europa o CEF (Gobierno de España, 2016).

<sup>114</sup> IBIL, Iberdrola, Endesa, GIC, EDP, AEDIVE, CEIIA y Renault.

FIGURA 10. Mapa de puntos de recarga del proyecto CIRVE



Fuente: (Gobierno de España, 2016).

Esta red de recarga deberá ampliarse para cumplir con las exigencias de la Directiva DAFI, en el marco de las líneas de actuación de la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (VEA) en España (2014-2020).

Esta Estrategia pretende, siguiendo las indicaciones de dicha Directiva, establecer suficientes puntos de recarga en los ámbitos urbanos para 2020, y en la red básica de la RTE-T para 2025 (considerando razonable una distancia de 100 kilómetros entre puntos de recarga). También se contempla una equivalencia de al menos un punto de recarga por cada 10 vehículos, de manera indicativa y no vinculante (MINETUR, 2015b).

De esta manera se pretende alcanzar la instalación total de 1.190 puntos en los ámbitos urbanos y 300 en las carreteras, según la distribución de las siguientes tablas. Hay que destacar que la Estrategia también señala la instalación de un punto de carga por cada 40 plazas de aparcamiento en nuevos edificios residenciales y aparcamientos públicos<sup>115</sup> así como desarrollar una carga vinculada por vehículo en el corto plazo

La instalación sería, de acuerdo con términos de población en espacios urbanos, como muestra la siguiente tabla.

<sup>115</sup> Recogido en la Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT-52 *Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos*, publicado en el Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre (BOE, 2014).



**TABLA 32. Puntos de recarga a instalar en ámbitos urbanos de España**

Número de ciudades	Habitantes	Puntos de carga
2	Más de 1 millón	200
4	Más de 500.000	200
23	Más de 200.000	460
33	Más de 100.000	330

Fuente: elaboración propia a partir de (MINETUR, 2015b).

En cambio, respecto a las carreteras, la distribución de puntos a instalar es la siguiente.

**TABLA 33. Puntos de recarga a instalar en carreteras de España**

Tipo de carretera	Longitud total	Puntos de carga
Red básica TEN-T	5.569	56
Red global TEN-T	6.518	65
Resto de la Red de Carreteras del Estado	13.986	140
Carreteras de gran capacidad de las Comunidades Autónomas	3.915	39

Fuente: elaboración propia a partir de (MINETUR, 2015b).

Respecto a las posibilidades de impulsar la instalación de puntos de recarga públicos, un estudio realizado por Tecnia y la Universidad del País Vasco, señala que el desarrollo de estos dependerá de su ubicación (Madina et al., 2016). Así, los puntos instalados en áreas concretas pueden ser rentables a partir de una decena de vehículos eléctricos en esa zona, mientras que un punto de carga rápida en autopista, sus usuarios potenciales deberían ascender a cientos o incluso a miles para ser rentables, por lo que su desarrollo en las estructuras interurbanas no se espera en el corto plazo.

Cabe además mencionar los sistemas de carga ultrarrápida aplicables a autobuses, que en España se ha implantado en Barcelona a través del proyecto europeo ZeEUS (Sistema de Autobuses Urbanos de Emisión Cero). Dicho sistema permite cargas del 80% de la batería en cinco minutos, empleando un sistema de contacto de 400 kW de potencia a través de un pantógrafo instalado en la parte superior del vehículo (Energías Renovables, 2016). Otro ejemplo reseñable es el de Ginebra, que mediante un sistema de estaciones de carga ultrarrápida de 600 kW es capaz de suministrar a los autobuses urbanos la carga necesaria para ir de parada en parada recargando sólo quince segundos (con conexión de menos de un segundo). Esto, sumado a una carga de cuatro a cinco minutos en las últimas paradas, permite mantener las baterías totalmente cargadas (Patey et al., 2016).

Para la promoción de la industria relacionada con el vehículo eléctrico, doce empresas formaron en 2011 un consorcio que dio lugar al proyecto Mugielec, buscando un desarrollo conjunto de los sistemas de recarga, tanto rápida como convencional y vinculada. El proyecto nació con el énfasis puesto en la fase de innovación, buscando la optimización de un sistema integral que permita a las

empresas involucradas ser competitivas en este sector a nivel europeo (EVE, 2013b).

Asimismo, el proyecto Green eMotion, desarrollado entre 2011 y 2015 para conectar iniciativas regionales y nacionales de la Unión Europea, estableciendo una red europea de demostración de la movilidad eléctrica. Además de distintas ciudades e instituciones (entre las que también se encontraban Málaga y Barcelona), también participaron de esta red Iberdrola y Tecnalia, empresas de la CAPV (Green eMotion, 2017).

Otro proyecto de relevancia es el proyecto *Zem2all* (*Zero Emissions Mobility To All*, en inglés, o Movilidad con Cero Emisiones Para Todos). Se desarrolló durante cuatro años en Málaga y su área de influencia es el mayor proyecto de demostración de movilidad eléctrica en España. A su finalización, a comienzos de 2016, contaba con 200 vehículos, 220 puntos de recarga convencional, 23 puntos de recarga rápida, con un total de 4,6 kilómetros recorridos y 100.000 descargas (Endesa, 2016).

En lo relativo a los costes, los datos que se muestran en la siguiente tabla corresponden, de manera ampliada, a los costes calculados en 2015 para las infraestructuras de recarga según un estudio de la Plataforma Nacional Alemana para la Movilidad Eléctrica, publicado por el Gobierno Federal de Alemania (NPE, 2015). Se trata de costes ya aplicados en Europa y, por tanto, aplicables al caso de que nos ocupa, si bien es cierto que dicho estudio tenía como objetivo estimar los costes a 2020, que se espera que se reduzcan considerablemente.

El mismo estudio menciona que los sistemas de carga rápida podrían alcanzar capacidades de más de 150 kW, y ofrecer así un servicio mucho mejor en cuanto a velocidad de carga, pero requieren inversiones mayores que los de la carga rápida convencionales, y al no ser asumibles por todos los vehículos, implicarían sobrecostes de adaptación, por lo que por el momento no se consideran en el medio plazo.

**TABLA 34. Costes de infraestructura de recarga eléctrica pública en 2015**

	Carga convencional	Carga rápida
<b>Puntos de carga</b>	2	1
<b>Capacidad de carga</b>	3,7 - 22 kW	50 kW
<b>Terminal (hardware completo, incluyendo comunicación y contador inteligente)</b>	4.000 - 5.000 €	22.000 - 25.000 €
<b>Conexión de red</b>	1.000 - 2.000 €	5.000 - 17.000 €
<b>Autorización/diseño/búsqueda de localización</b>	1.000 €	1.500 - 3.500 €
<b>Instalación/montaje/señalización</b>	1.500 - 2.000 €	3.500 €
<b>Inversión total</b>	7.500 - 10.000 €	35.000 - 50.000 €

Fuente: elaboración propia a partir de (NPE, 2015).

Nota 1: Los costes no incluyen la instalación adicional de una marquesina, que puede ascender a 5.000 €.

Nota 2: Otra cuantía a considerar en España es el término de potencia que se aplica, de entre 5.000 y 8.000 € por punto de recarga y que supone uno de los grandes inconvenientes económicos que frenan el desarrollo de la infraestructura.

Los puntos de carga vinculada<sup>116</sup> por vehículo eléctrico instalados en los hogares para la recarga nocturna, supondrán la gran mayoría de puntos de recarga. Esta instalación, de entre 3,7 kW y 7,4 kW de potencia (NPE, 2015), supone un coste en el entorno de los 2.200 – 2.400 € por vehículo (1.400 € corresponden a la terminal [MINETUR, 2015b] y el resto a la instalación<sup>117</sup>).

#### ***Vehículo con GLP***

La infraestructura de repostaje de los GLP es la más desarrollada de todas, pues como ya se ha señalado, en España existen actualmente 553 estaciones (AOGLP, 2017). El hecho de que sea un derivado del petróleo permite que tenga esta alta capacidad de penetración y que suponga la menor inversión en infraestructuras de las energías alternativas, del orden de 100.000 euros por punto de suministro (MINETUR, 2015b).

Teniendo en cuenta los objetivos del MAN de alcanzar 250.000 vehículos de GLP (véase apartado 5.3), España debería alcanzar 2.765 puntos de suministro<sup>118</sup> según la proporción actual.

#### ***Vehículo con gas natural comprimido***

Según la Directiva DAFI, es necesario que los países de la UE sitúen estaciones de servicio de GNC, en número suficiente en las aglomeraciones urbanas para 2020 y en la red TEN-T, para 2025 cada 150 kilómetros, siendo esta distancia orientativa.

La infraestructura de gas natural comprimido estaría constituida por estaciones de servicio en ciudades y en carretera, creando de esta forma una red similar a la de los puntos de suministro de combustibles convencionales.

Los elementos concretos que las estaciones de GNC requieren son varios: compresores para elevar la presión desde la red de distribución hasta la de 200 o 250 bares, necesaria para el depósito del vehículo; refrigerantes para reducir la temperatura del gas comprimido hasta las condiciones de carga del vehículo (15°C) y depósitos intermedios a presión para reducir el tiempo de recarga. Dichos depósitos se suelen dividir en varios niveles de presión para realizar el repostaje en dos o tres fases de llenado y mejorar así la eficiencia energética (La Gaviota, 2012).

Hay dos diseños de estaciones posibles. Por un lado, las estaciones de carga rápida se basan en la compresión del gas, que se transfiere al vehículo por diferencia de presión durante el repostaje, reduciéndose así el tiempo necesario para el aporte de gas. Por otro lado, existe la modalidad de carga lenta, cuya principal diferencia

---

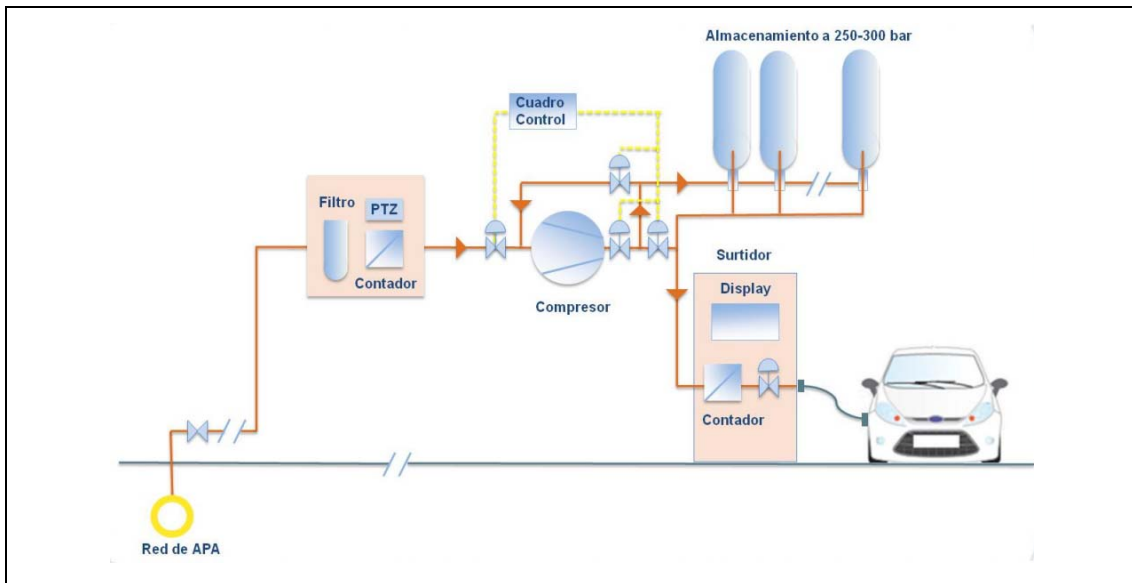
<sup>116</sup> Se entiende por carga vinculada el punto en el que un vehículo eléctrico realiza habitualmente la carga convencional, de manera que corresponde un punto de carga por cada vehículo para cumplir esta función.

<sup>117</sup> La instalación de las cargas vinculadas puede ser de 500 € (NPE, 2015), si bien esta puede ser el doble si tiene lugar en comunidades de vecinos en lugar de viviendas unifamiliares.

<sup>118</sup> Según el MAN, la infraestructura desarrollada hasta la fecha permite que en 2020 solo sean necesarios entre 800 y 1.000 puntos de suministro (Gobierno de España, 2016). Sin embargo, dado que este tipo de inversión es la más reducida de las infraestructuras de los VEA, se optado por un capacidad de penetración mayor.

radica en que el gas se comprime al tiempo que se rellena el depósito del vehículo, no consta, por tanto, de depósitos intermedios de almacenamiento.

**FIGURA 11. Estación de suministro de gas natural comprimido**



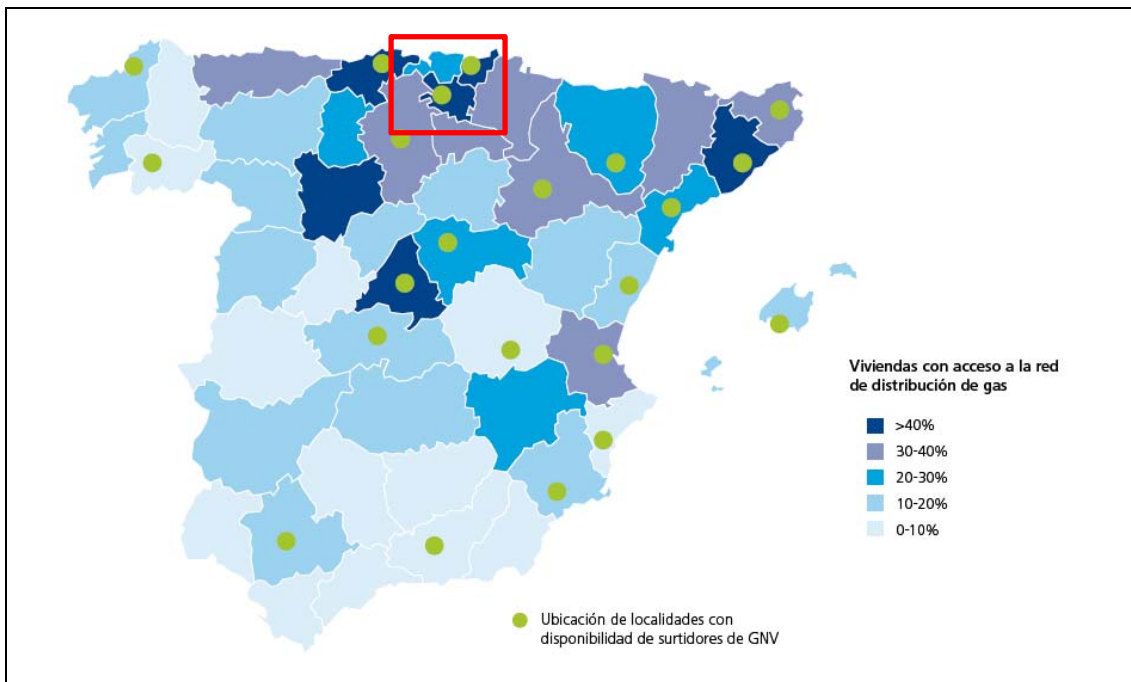
Fuente: (Beltrán, 2015).

Se requiere, además, una conexión con la red de distribución de gas natural junto con una ERM (Estación de Regulación y Medida) en cada estación de servicio para la gestión de la conexión.

En junio de 2015, había en España 42 estaciones de servicio abiertas al público (cabe mencionar la existencia de 65 estaciones privadas), siendo 25 de GNC y el resto de GNL (MINETUR, 2015b).

La penetración de la red de suministro de gas se puede ver en los siguientes mapas, donde se distingue que la CAPV cuenta con elevados porcentajes, en comparación con otros territorios. Sin embargo, el suministro no tiene que ser necesariamente desde la red, puede realizarse mediante “gasoducto virtual”, o lo que es lo mismo, a través de tanques de gas licuado abastecidos por camiones cisterna o tráileres de botellas. Este segundo sistema, se ha contemplado en el aeropuerto de Madrid-Barajas para el suministro de equipos de tierra (La Gaviota, 2012).

**FIGURA 12. Estaciones de repostaje de gas natural vehicular (GNV) y penetración de la red de distribución de gas natural en 2013**



Fuente: modificado de (Deloitte, 2015).

**FIGURA 13. Estaciones de gas natural en la CAPV y su entorno**



Fuente: (GASNAM, 2016).

Para cumplir con la exigencia de la Directiva, la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (VEA) en España (2014-2020)<sup>119</sup> estima que en 2020 se habrá procedido a la instalación de 119 puntos de suministro de GNC en el ámbito urbano, dando prioridad a las ciudades con más de 100.000 habitantes. Asimismo,

<sup>119</sup> El MAN no invalida esta Estrategia.

considerando la Red de Carreteras del Estado y las de las Comunidades Autónomas, y siguiendo la indicación de los 150 kilómetros de separación máxima entre estaciones, en el año 2025 debería procederse a la instalación de 199 puntos de suministro de GNC adicionales en carreteras. El total de puntos de GNC ascendería, por tanto, a 318.

Al igual que en el caso del vehículo eléctrico, la instalación sería diferente en términos de población en espacios urbanos que respecto a las carreteras. En lo que se refiere a términos de población, las cifras se recogen en la siguiente tabla.

**TABLA 35. Puntos de GNC a instalar en ámbitos urbanos de España**

Número de ciudades	Habitantes	Puntos GNC
2	Más de 1 millón	20
4	Más de 500.000	20
23	Más de 200.000	46
33	Más de 100.000	33

Fuente: elaboración propia a partir de (MINETUR, 2015b).

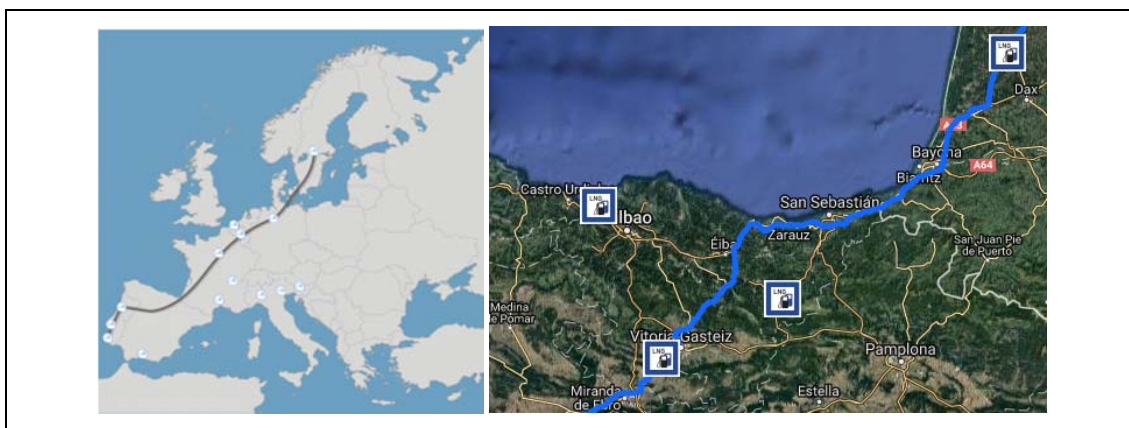
En cambio, respecto a las carreteras, la distribución de puntos a instalar es la que se muestra en esta tabla.

**TABLA 36. Puntos de GNC a instalar en carreteras de España**

Tipo de carretera	Longitud total	Puntos GNC
Red básica TEN-T	5.569	37
Red global TEN-T	6.518	43
Resto de la Red de Carreteras del Estado	13.986	93
Carreteras de gran capacidad de las Comunidades Autónomas	3.915	26

Fuente: elaboración propia a partir de (MINETUR, 2015b).

El abastecimiento de gas comprimido se facilita con la estructura existente o la que se vaya a desarrollar de GNL, ya que una estación de GNC puede abastecer sólo los vehículos de su tipo, mientras que las de GNL es capaz de hacerlo a ambos tipos (Arraibi, 2015). De hecho, el proyecto *Blue Corridors*, desarrollado para impulsar el GNL en el transporte de mercancías, considera el paso del corredor Atlántico por la CAPV, con el consiguiente apoyo al desarrollo de la infraestructura de GNL. La literatura del mismo proyecto destaca que España es el país más desarrollado en esta tecnología (LNG Blue Corridors, 2016).

**FIGURA 14. Paso de uno de los Blue Corridors por el País Vasco**

Fuente: (LNG Blue Corridors, 2016).

En el caso del GNL en la Directiva DAFI, se establece la necesidad de disponer de estaciones de servicio cada 400 kilómetros. De cumplir con la Directiva, serían necesarios 14 puntos de GNL. Sin embargo, si se pretende abarcar, como en el GNC, toda la red de carreteras considerada relevante, supondría instalar 75 puntos. Si a esto se le añaden por efectos puramente estimativos, como considera la Estrategia, puntos de GNL en las ciudades de más de 100.000 habitantes, resultarían otros 93 puntos. Es decir, se deberían instalar en total 168 puntos de GNL (MINETUR, 2015b).

**TABLA 37. Puntos de GNL a instalar en ámbitos urbanos de España**

Número de ciudades	Habitantes	Puntos GNL
2	Más de 1 millón	6
4	Más de 500.000	8
23	Más de 200.000	46
33	Más de 100.000	33

Fuente: elaboración propia a partir de (MINETUR, 2015b).

**TABLA 38. Puntos de GNL a instalar en carreteras de España**

Tipo de carretera	Longitud total	Puntos GNL
Red básica TEN-T	5.569	14
Red global TEN-T	6.518	16
Resto de la Red de Carreteras del Estado	13.986	35
Carreteras de gran capacidad de las Comunidades Autónomas	3.915	10

Fuente: elaboración propia a partir de (MINETUR, 2015b).

Además, cabe añadir la posibilidad de utilizar estaciones móviles de GNL. De esta manera se puede flexibilizar el suministro en función de la necesidad, así como realizar pruebas del potencial de una localización antes de proceder a la instalación de una estación de servicio permanente.

**FIGURA 15. Estación móvil de GNL**



Fuente: (Beltrán, 2015).

Nota: Existen dos estaciones móviles, una en el Puerto de Bilbao y otra en Transordizia.

Las siguientes imágenes muestran una estación de suministro de gas natural vehicular de Gas Natural Fenosa en Madrid en noviembre de 2016. Se puede apreciar el precio del gas en dicho momento, 0,875 €/kg.

**FIGURA 16. Imágenes de estación de suministro de gas natural vehicular en Madrid**



Fuente: archivo de los autores.

**FIGURA 17. Vehículo de gas natural y punto de recarga de exhibición**



Fuente: archivo de los autores, obtenido del I Encuentro Hispano-Luso del Gas Natural en el Transporte Terrestre – GASTRANS'16.



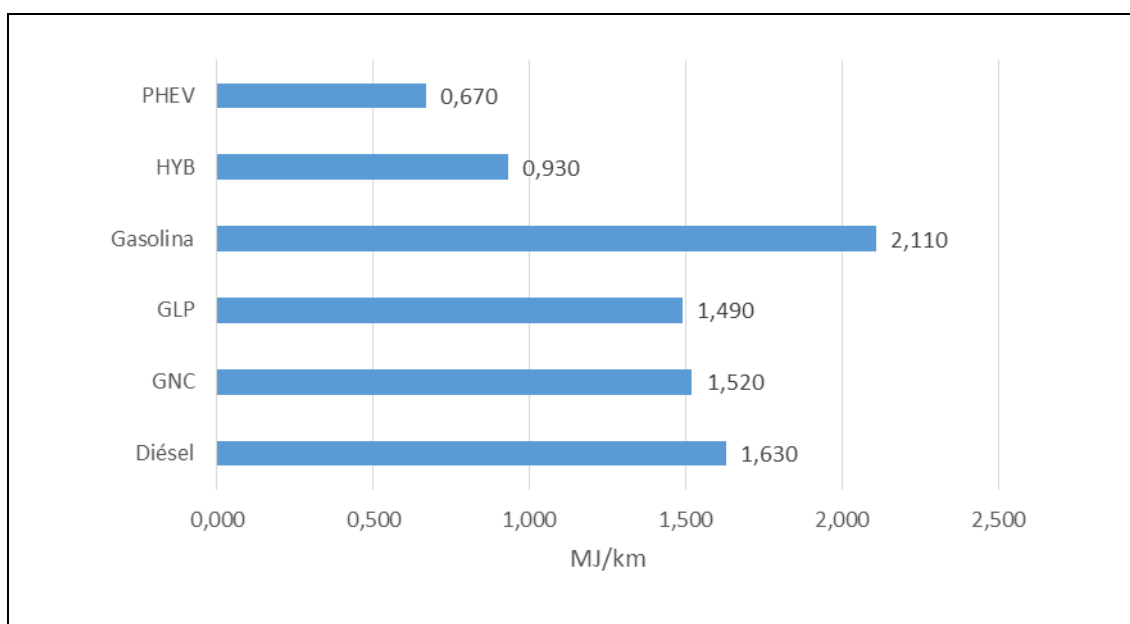
Si bien hay que considerar que los puntos de suministro particulares o dedicados a flotas privadas, que actualmente suponen la mayoría en España (65 privadas frente a 42 públicas, como ya se ha mencionado), las estaciones consideradas para la atención al público serían las que más inversión requieren de las consideradas.

En el caso menos económico, se ha de considerar un coste entre 700.000 euros y 1,8 millones de euros por estación de servicio de suministro rápido pública, según datos de Estados Unidos<sup>120</sup> (Smith y Gonzales, 2014). Por otro lado, la primera estación de servicio de gas natural conectada a la red de distribución de la CAPV fue inaugurada en enero de 2014 por EDP, con una inversión de 310.000 euros (EDP, 2014). Teniendo en cuenta esto, en el estudio se asume un coste por estación de servicio de GNC de 500.000 euros.

#### 4.2.2. Supuestos y aspectos económicos

El gráfico siguiente recoge los resultados en términos de consumo de energía por unidad recorrida en el año 2010, y lo previsto, siguiendo las estimaciones de mejora de eficiencia y de aplicación normativa a partir del año 2020 (2020+) para los vehículos de energías alternativas y el híbrido convencional.

**GRÁFICO 31. Comparativa de consumo energético de combustibles fósiles (TTW)**



Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b).

Nota: Diésel referenciado como DIC1 2010 y gasolina como PISI 2010. GNC, GLP y Hyb como PISI 2020+. PHEV es DISI 2020+, siendo este su consumo de gasolina.

<sup>120</sup> No considerando aquí, lógicamente, los acuerdos comerciales que en la práctica pueden hacer variar significativamente el coste de la inversión. Por otra parte, el coste de desarrollo de esta infraestructura, este difiere en función de las unidades instaladas y de sus capacidades, que varían según el tipo de vehículo que vaya a repostar. De esta manera, el Departamento de Energía de Estados Unidos ha diferenciado distintos tipos de estaciones de servicio que se pueden instalar y para las que sugiere distintas aplicaciones, que se pueden ver en el anexo 9.

El criterio empleado en el cálculo de consumos es parejo al de las emisiones TTW<sup>121</sup> de CO<sub>2</sub> que se comentan en el siguiente apartado. Es decir, para los consumos de gasóleo, gasolina, GNC, GLP, híbrido, al emplear motores de combustión interna, se considera, que los consumos medios de certificación de los vehículos en los ciclos NEDC pueden dar valores un 30% inferiores a los reales<sup>122</sup>, siguiendo los resultados de la Agencia Europea de Medioambiente (EEA, 2016).

En el caso del BEV, el consumo eléctrico pretende ser también un valor de consumo real, en base a consultas a profesionales del sector<sup>123</sup>. Se considera que el PHEV consume un 26% del BEV, a lo que se añade el consumo real de gasolina (Edwards et al., 2014b).

Respecto a los precios de los vehículos, para los vehículos de gasolina y gasóleo se ha tomado el precio medio de los diez modelos más vendidos en España en 2014, situándose este en 14.567 euros para la gasolina y en 16.495 euros para el gasóleo (Acierto.com, 2014). En cuanto a los modelos de energías alternativas, se ha tratado de encontrar modelos de potencia similar para poder ser comparados, buscando las máximas coincidencias posibles entre las fuentes<sup>124</sup> y siempre entre los modelos más comercializados. En la tabla que sigue se muestra una selección de estos, en base a los cuales, en el capítulo siguiente, se estiman los sobrecostes.

**TABLA 39. Resumen de los supuestos para el cálculo de los precios de los vehículos (eléctricos)**

BEV			PHEV		
Modelo	€	CV	Modelo	€	CV
Nissan Leaf	33.233	109	Audi A3	39.615	204
Volkswagen e-Golf	34.900	116	BMW S2	39.500	224
BMW i3*	28.000	170	VW Golf	40.090	204
Media aproximada	34.000	-	VW Passat	45.380	218
			Mitsubishi Outlander	47.448	203
			Media aproximada	42.400	-

Fuente: elaboración propia.

Nota: El BMW i3 no se considera en la media por tener una potencia más elevada. Se ha incluido como ejemplo de BEV con potencias más altas y con menores precios.

<sup>121</sup> Para la conversión de unidades se han considerado las siguientes relaciones: densidad del diésel, 0,840 kg/l; PCI del diésel, 42,6 MJ/kg; densidad de la gasolina, 0,75 kg/l; PCI de la gasolina, 44MJ/kg; PCI del gas natural, 49 MJ/kg; densidad del GLP, 0,54 kg/l; PCI del GLP, 46 MJ/kg (Edwards et al., 2014b).

<sup>122</sup> Para una aproximación en detalle a las diferencias entre los ciclos de certificación y los consumos medios, puede consultarse el documento de la Agencia Europea de Medioambiente, *Explaining road transport emissions. A non-technical guide* (2016).

<sup>123</sup> La recarga para dicho consumo es establece en un 95% normal, y en un 5% rápida, según las mismas fuentes.

<sup>124</sup> En general se ha recurrido a listas de ventas y datos técnicos de páginas web especializadas como motorpasion.com, km77.com, hibridosyelectricos.com o xataka.com. También a contraste de datos en las casas de los respectivos fabricantes.

**TABLA 40. Resumen de los supuestos para el cálculo de los precios de los vehículos (no eléctricos)**

GNC			GLP			HYB		
Modelo	€	CV	Modelo	€	CV	Modelo	€	CV
Volkswagen Golf TGI	26.853	110	Citroën C-Elysée VTi 115 GLP Exclusive	15.070	116	Toyota Auris	22.020	116
Škoda Octavia G-Tec	23.980	110	Alfa Romeo MiTo 1.4 T-JET GLP 120 CV Super	15.710	120	Toyota Yaris	18.100	99
SEAT León 1.4 TGI	22.459	110	Fiat Tipo 5p 1.4 GLP 120 CV Easy	16.850	120	Lexus IS 300	35.900	223
Audi A3 Sportback g-tron	25.900	110	Fiat Tipo 5p 1.4 GLP 120 CV Lounge	17.850	120	Lexus CT 200	22.900	136
Media aproximada	25.000	-	Ford Focus Berlina Trend+ 1.6 Autogas (GLP)	19.225	117	Toyota Prius	32.250	122
			Ford Focus Berlina Titanium 1.6 Autogas (GLP)	20.825	117	Media aproximada	26.000	-
			Alfa Romeo Giulietta 1.4 TB 120 CV GLP Super	21.665	120			
			Media aproximada	18.000	-			

Fuente: elaboración propia.

Nótese que en el caso del PHEV las potencias seleccionadas son más altas en comparación con el resto, lo que hace incurrir en precios medios más elevados. Debido a su peso y prestaciones, los híbridos enchufables más vendidos son en general modelos de alta gama.

**TABLA 41. Resumen de los principales supuestos relativos a los aspectos económicos**

Tipo de vehículo	Combustible		Vehículo	Punto de recarga o suministro (k€)
	Consumo (por cada 100 km)	Precio	Precio (k€)	
<b>Gasolina (2010)</b>	8,3 l	1,24 €/l	14	n.a.
<b>Gasóleo (2010)</b>	5,9 l	1,13 €/l	16	n.a.
<b>BEV (vehículo eléctrico de batería) (2013-2015)</b>	18 kWh	Carga convencional: 0,1261 €/kWh Carga rápida: 0,50 €/kWh	34	Carga convencional: 2,4 Carga rápida: 50
<b>PHEV (híbrido enchufable) (2020+)</b>	2,9 l 4,7 kWh	1,24 €/l Carga convencional: 0,1261 €/kWh Carga rápida: 0,50 €/kWh	42	26% de la carga convencional del BEV
<b>GNC (gas natural comprimido) (2020+)</b>	4 kg	0,9 €/kg	25	500
<b>GLP (gases licuados del petróleo) (2020+)</b>	7,8 l	0,62 €/l	18	100
<b>Hyb (híbrido) (2020+)</b>	4 l	1,24 €/l	26	n.a.

Fuente: elaboración propia.

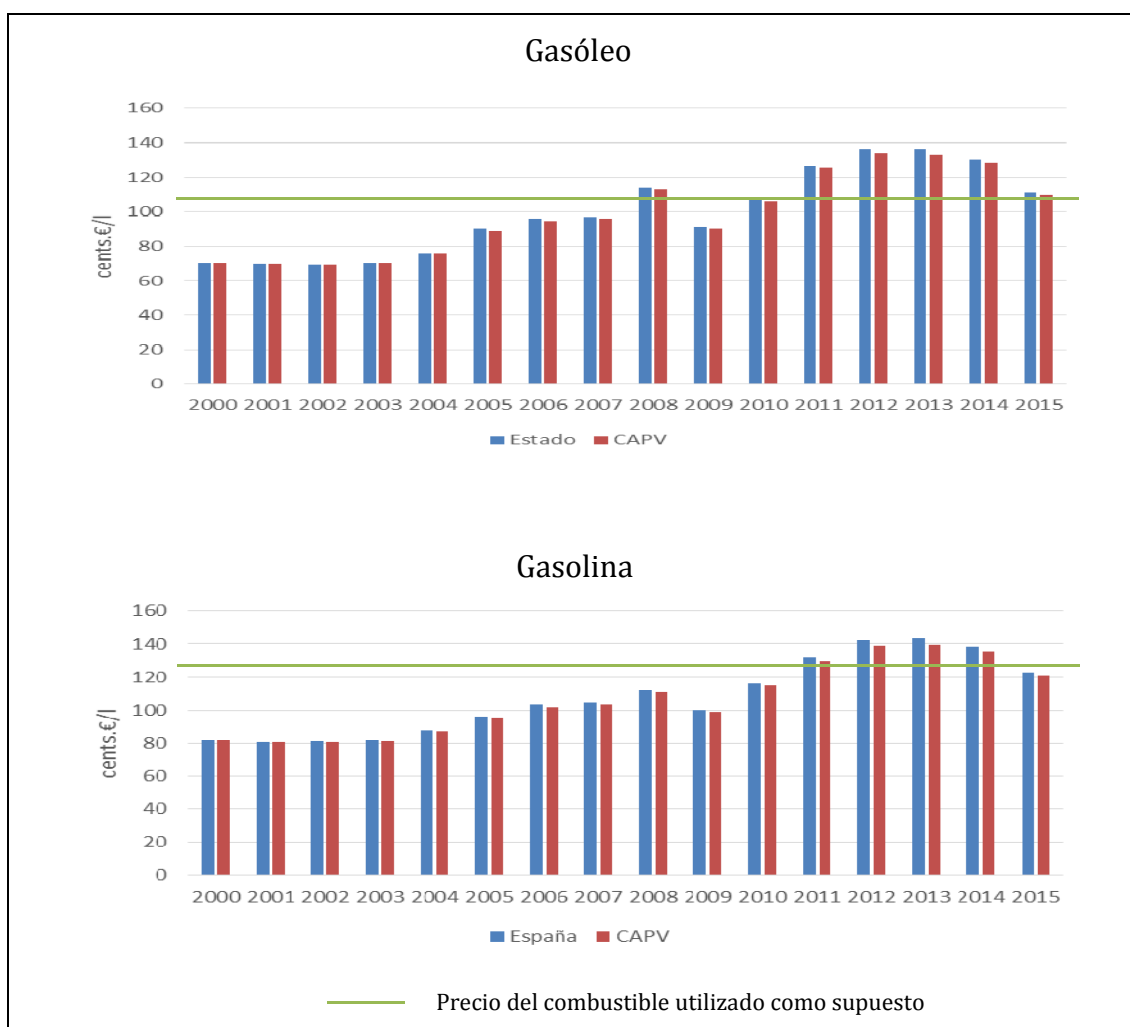
Nota 1: Respecto al consumo del vehículo eléctrico (18 kWh/100km), este es un consumo que se asume en condiciones de conducción real; en función de la literatura, este puede variar entre 15 y 20 kWh/100km. La tarifa para la carga convencional se ha calculado mediante el comparador de tarifas de energía de la CNMC para una potencia de 3,7 kW y periodo supervalle (CNMC, 2017).

Nota 2: n.a. es no aplica. En cualquier caso, en la CAPV hay en torno a 280 estaciones de servicio (MINETUR, 2016a). En lo relativo a las infraestructuras, en el caso del BEV, se establecen 10 puntos para ciudades de más de 100.000 habitantes, 20 para más de 200.000 y 100 para más de un millón. En el caso del GNC, las cifras son, 1 punto para ciudades de más de 100.000 habitantes, 2 para más de 200.000 y 10 para más de un millón; y para el GLP, en función del número de automóviles, teniendo en cuenta que en la CAPV se deberían alcanzar 119 puntos de suministro frente a los 28 ya existentes. En el caso del PHEV, se considera que al existir instalaciones convencionales para el consumo de gasolina, sólo hacen falta instalaciones de carga convencional. Estas serían proporcionales al consumo eléctrico (26%).

Respecto al precio del gasóleo propuesto, se puede considerar la evolución del precio del gasóleo en la CAPV y en España desde el año 2000 para un análisis de sensibilidad de dicha cuantía.

En 2006 se produjo una modificación del impuesto especial para el cumplimiento de los mínimos de la UE. A partir de entonces, las oscilaciones se deben a la demanda exclusivamente.

## GRÁFICO 32. Evolución del precio de los combustibles convencionales con impuestos en España y en la CAPV



Fuente: elaboración propia a partir de (MINETUR, 2016b).

El precio empleado en el supuesto del gasóleo se sitúa un 21% por debajo del máximo del periodo considerado, y un 38% por encima del mínimo, estableciéndose así el rango para el análisis de sensibilidad<sup>125</sup>.

A este respecto es importante señalar que las energías y, por tanto, sus precios de mercado no son completamente independientes unas de otras. La referencia de precio está marcada por el petróleo, que es la fuente de energía de mayor consumo a nivel mundial y que lo continuará siendo en las próximas décadas. Todas las energías alternativas tienen sus propios mercados, internacionales en el caso del GLP y del gas natural, y más locales en el caso de la electricidad (últimamente en la UE mediante el impulso a la interconexión de redes eléctricas por el proyecto RTE-T se están desarrollando mercados europeos). En el caso del GLP, producto del

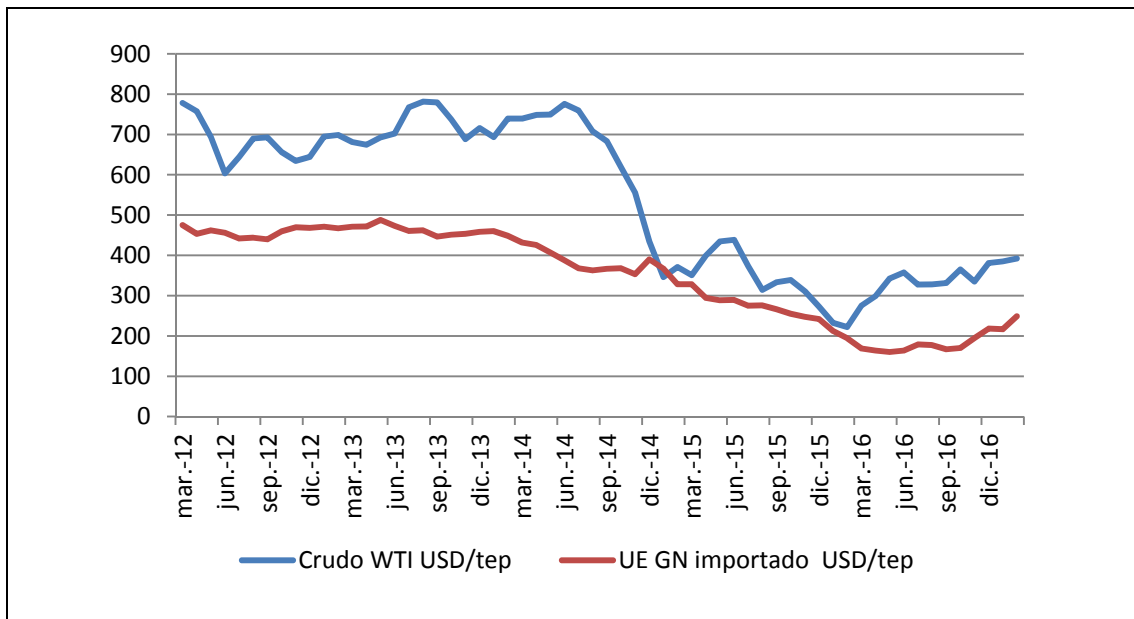
<sup>125</sup> Respecto al precio de la gasolina, este se sitúa un 16% por debajo del máximo y un 35% por encima del mínimo. Si bien este rango histórico es menor que el del gasóleo, se ha optado por el más amplio de los dos para proceder a un análisis de sensibilidad más amplio, siendo estos porcentajes meramente orientativos.

petróleo, sus precios están asociados al precio del petróleo, En el del gas natural, salvo en Estados Unidos, en donde existe una gran producción de gas no convencional (o *shale gas*), los precios están referenciados a los del petróleo.

A partir de datos muestrales de estaciones de venta al público de gas natural vehicular, con datos mensuales, para el periodo de junio 2014 a marzo 2017, los precios mínimos y máximos fueron de 0,6562 €/kg y 0,862 €/kg, respectivamente. Lo que supone una hipótesis un 27% superior al mínimo y un 4% respecto al máximo.

La electricidad se produce a partir de derivados del petróleo y gas natural, ambos con precios relacionados; del carbón, menos dependiente del petróleo; o de fuentes renovables o de energía nuclear, generalmente no sujetas a las oscilaciones del precio de este. Por tanto, la electricidad, dependiendo del *mix* de generación, tiene un sistema de fijación de precios más o menos dependiente del petróleo.

**GRÁFICO 33. Evolución de los precios del petróleo WTI y del gas natural importado en la UE en \$/tep**



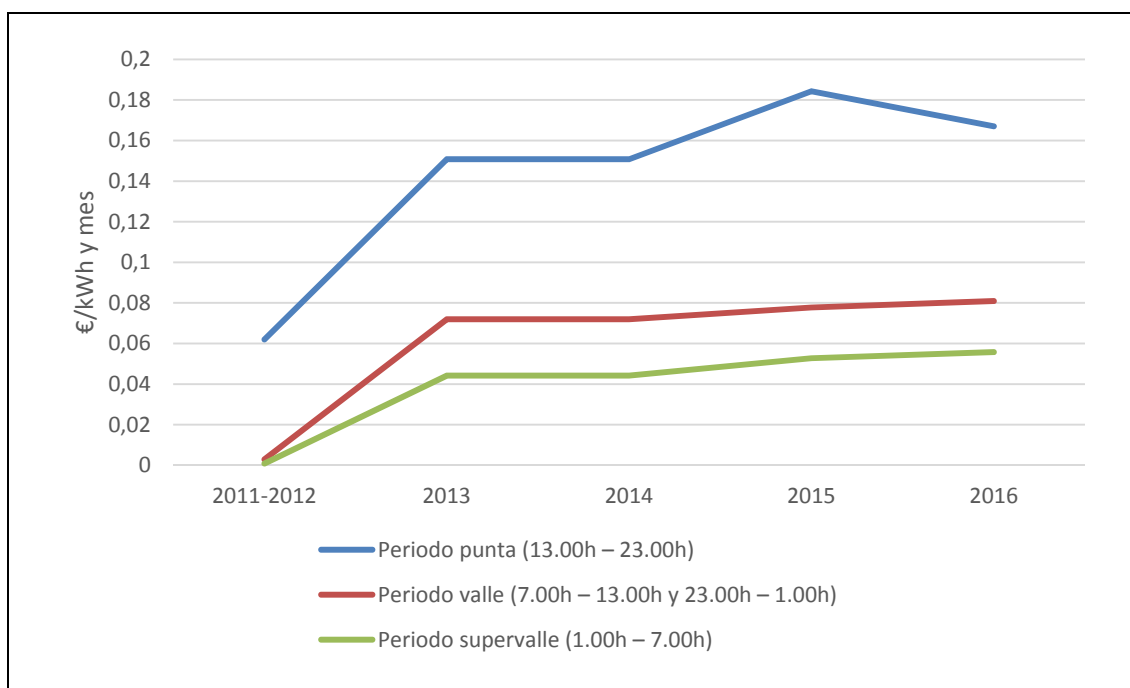
Fuente: elaboración propia a partir de (EIA, 2017) y (Comisión Europea, 2017).

Además del precio en los mercados mayoristas, un segundo aspecto a tener en cuenta en la conformación del precio al consumidor final, son los costes de transporte y distribución, los impuestos especiales y, finalmente el IVA. Los impuestos especiales, cuyo valor mínimo a aplicar depende de la UE (Directiva 2003/96/CE) así como de decisiones políticas nacionales y locales. En el caso de los combustibles convencionales representan actualmente más del 50% del precio final al consumidor (situación que amortigua las oscilaciones de precio en los mercados mayoristas), mientras que los combustibles alternativos disfrutaban de impuestos reducidos con objeto de promover el desarrollo y uso de la infraestructura de suministro.

Un tercer elemento a considerar en la evolución de los precios es la intercambiabilidad de los combustibles. En efecto, dado que la mayoría de los vehículos de GNC y GLP del mercado son bifuel: gasolina/GLP o gasolina/GNC, el usuario puede decidir el combustible que utiliza en función de los precios y/o disponibilidad. No así en el caso del vehículo eléctrico, salvo para los híbridos enchufables utilizados en distancias cortas, aunque su número es reducido.

En el caso de la energía eléctrica, teniendo en cuenta la situación actual en España donde un 60% de la electricidad procede de renovables y de la energía nuclear y un 20% del carbón, su precio está mucho menos relacionado con el del petróleo. Sin embargo, su aplicación al transporte por carretera no está libre de verse afectada por la modificación de la directiva citada sobre imposición a la energía de forma similar a los restantes combustibles alternativos. Es, por tanto, factible que el precio de la electricidad para el transporte evolucione al alza y el diferencial entre el coste de utilización entre el vehículo eléctrico y el convencional se reduzca.

**GRÁFICO 34. Evolución del término de energía del peaje de acceso con discriminación horaria en los primeros meses de cada año desde la introducción de la modalidad supervalle**



Fuente: elaboración propia a partir de (IDAE, 2016).

Nota: La fuente de datos es el *Informe de precios energéticos regulados*, también en sus versiones de 2015, 2014, 2013 y 2012,

Los precios de las energías empleados en el estudio son finales, y no se tienen en cuenta las diferencias introducidas por los distintos niveles de imposición,

subvenciones o exenciones fiscales. En cualquier caso, hay que subrayar que estas son importantes, ya que varían de una energía a otra<sup>126</sup>.

#### 4.2.3. Comparativa mediante el TCO

Como se ha señalado anteriormente, a la hora de realizar proyecciones futuras sobre el comportamiento de los ciudadanos a la hora de decantarse por uno u otro tipo de VEA y por tanto la evolución del parque conforme avance la penetración de cada tecnología, es imprescindible considerar el coste total de utilización para el propietario (TCO, o *total cost of ownership* en inglés).

Es importante señalar que en el cálculo del TCO no se ha considerado la infraestructura, y que se supone un precio de las energías estable en el tiempo. Tampoco se incluye el impuesto de tracción mecánica (que varía según el tipo de combustible). La siguiente tabla recoge el cálculo del TCO para tipo de vehículo, según los aspectos y supuestos económicos antes recogidos.

**TABLA 42. Evaluación del TCO (€/km)**

Gasolina	Gasóleo	BEV	PHEV	GNC	GLP	Hyb
0,2044	0,1935	0,2482	0,3029	0,2065	0,1842	0,2221

Fuente: elaboración propia.

Un aspecto importante a considerar es que la evolución futura de los TCO puede hacer que las preferencias de los ciudadanos por una u otra tecnología cambien. A este respecto, se debe señalar que tanto los vehículos convencionales como los alternativos de gas natural o los de GLP, utilizan tecnologías maduras, suficientemente probadas y con grandes volúmenes de producción, mientras que en el caso del vehículo eléctrico las tecnologías, en particular las baterías, se encuentran en la curva de aprendizaje, por lo que es su caída de precio lo que repercutirá en la reducción de los TCO en el futuro.

Así, según las previsiones de McKinsey&Company (2014), el precio de las baterías puede pasar de 383 \$/kWh en 2015 a 197 en 2020 y 163 en 2025; es decir, se podría reducir más de un 50% entre esos años. Teniendo en cuenta una proporción del precio de la batería del 35%<sup>127</sup> sobre el precio total del vehículo eléctrico, estas y otras reducciones pueden hacer que el TCO se aproxime al de los vehículos de gasolina y gas natural.

En esta línea, la Comisión Europea ha establecido como objetivo, a través del Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (SET-Plan, *Strategic Energy Technology Plan* en inglés), costes de las baterías de ión-litio de 200 €/kWh entre

<sup>126</sup> En junio de 2016, en España, el 56% del precio de la gasolina eran impuestos y el 52% en el gasóleo (Mazarrasa, 2016). En el GLP, el impuesto es de 57,47 €/t, y en el GNC a 200 kg/cm<sup>2</sup>, asciende a 1,15 €/GJ (56,35 €/t).

<sup>127</sup> Si se considera la composición del TCO del vehículo eléctrico de Hensley, R. et al. (2009), la batería supone un 25% del mismo



2020 y 2030, valor que, a partir de ese periodo, podría reducirse (Comisión Europea, 2011b).

La incertidumbre en la cuestión del precio de las baterías se debe a que las predicciones varían según quién las realice, con espectros más o menos amplios<sup>128</sup>. Una comparativa de varias de ellas se puede ver en la siguiente tabla.

**TABLA 43. Diferentes previsiones para el precio de las baterías según fuentes consultadas (\$/kWh)**

Fuente	2020	2022	2025	2030
Nykvist y Nilson	200-450	-	150-250	150-250
Lux Research			175	
Instituto Ambiental de Estocolmo			150	
DOE	125	-	-	-
OEM	-	100	-	-
McKinsey	200	-	163	-
Element Energy	-	-	-	215
Fraunhofer	100-300	-	-	-
General Motors	-	100	-	-
SET-Plan	200			
Inferior y superior	Inf: 100 Sup: 450	Inf: 100 Sup: 200	Inf: 150 Sup: 250	Inf: 150 Sup: 250

Fuente: elaboración propia a partir de (Nykvist y Nilson, 2015), (McKinsey, 2014), (Element Energy, 2012), (Fraunhofer, 2013), (Comisión Europea, 2011b)

Nota 1: Algunas fuentes dan los valores en €/kWh, pero dada la casi paridad €-\$ (febrero de 2017), se usa indistintamente para esta comparativa.

Nota 2: En las fuentes donde se daba más de un tipo de batería, se ha escogido por defecto la de ión-litio.

En cualquier caso, las baterías, junto con los sistemas de control de carga, están bien asentadas en el mercado para diversas aplicaciones, convirtiéndose en los últimos años en uno de los sectores con mayor y más rápido crecimiento de la electrónica y la electricidad (EASE/ERA, 2013).

Igualmente, se pueden considerar las ayudas al vehículo eléctrico adoptadas por del Gobierno Vasco (5.000 € que no supongan más del 20% del precio del vehículo). Si este estímulo se aplica al TCO los valores se aproximan a los de los vehículos de gasolina y GNC.

**TABLA 44. Evaluación de posibles TCO (€/km) del vehículo eléctrico**

	Actual	2020	2025
Sin ayudas	0,2482	0,2178	0,2085
Con ayudas	0,2192	0,1924	0,1842

Fuente: elaboración propia.

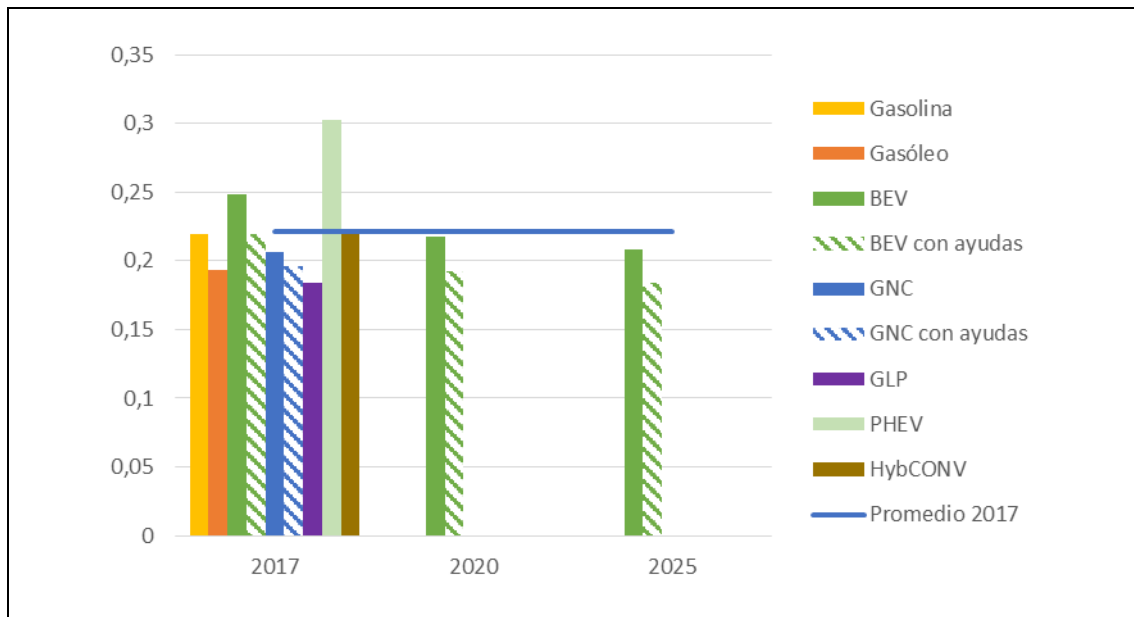
Nota: En las ayudas no se analiza la cuestión fiscal del IRPF, siendo de esta manera las indicadas por el EVE: 5.000 €.

<sup>128</sup> Por otra parte, no siempre se distingue en las predicciones entre pila unitaria o *pack* de batería, lo que puede explicar, en parte, las diferencias.

El TCO puede considerarse como un buen un indicador de la capacidad competitiva de cada VEA para su progresiva penetración en el mercado y en el parque de vehículos. Según ello, en la situación actual, deberían tener mayor penetración los vehículos de GLP, luego los de GNC y finalmente los BEV.

En el año 2020 y 2025, de acuerdo con las hipótesis sobre precios relativos consideradas, como se observa en el gráfico siguiente, se da una igualación del precio de los vehículos en términos de coste. Sin embargo, una vez iniciado el desarrollo de los combustibles alternativos, no parece factible que se mantengan los actuales niveles de imposición energética.

**GRÁFICO 35. Comparativa de los TCO analizados (€/km)**



Fuente: elaboración propia.

Nota: En el cálculo de los TCO, además de las ayudas al vehículo eléctrico, se ha considerado una posible ayuda al GNC de 2.000 €. Se incluye la infraestructura de carga vinculada, para la que se da asimismo un ayuda de 500 € (máximo del coste subvencionable).

#### 4.2.4. Desarrollo industrial

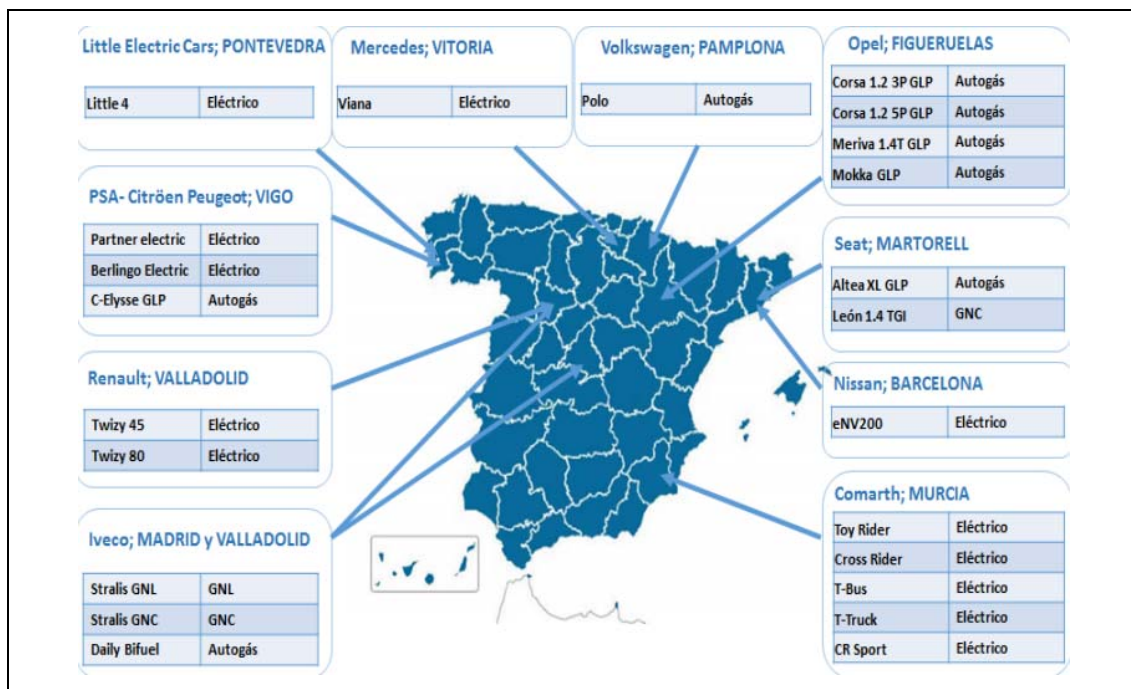
El desarrollo de los VEAs puede suponer una oportunidad para la industria automovilística del territorio, así como para los fabricantes de componentes y equipos.

España es octavo productor mundial de automóviles, segundo europeo y primero en Europa de vehículos comerciales, lo que indica la importancia de esta industria en el país y de todo lo que afecte a la misma, alcanzando el 10% del PIB.

En efecto, España cuenta con gran potencial industrial y tecnológico para enfrentar los cambios del sector de la automoción en cuanto a combustibles alternativos. De diecisiete plantas de producción de vehículos de transporte existentes, como se puede ver en el siguiente mapa, seis producen vehículos eléctricos, cuatro vehículos de GLP y dos vehículos de gas natural vehicular. A esto hay que añadir pequeños

fabricantes de cuadríciclos y motocicletas, así como las empresas dedicadas a infraestructuras de recarga (MINETUR, 2015b).

**FIGURA 18. Distribución de la fabricación de vehículos de combustibles alternativos en España**



Fuente: (MINETUR, 2015b).

Existen proyectos industriales de fabricación de vehículos de energías alternativas en España, lo que supone una base técnica importante para acometer los cambios tecnológicos necesarios en el sector de la automoción. De hecho, en el caso del vehículo eléctrico, SEAT ha anunciado recientemente que lanzará en 2019 un modelo propio, modificando su estrategia actual (Baquero, 2016)<sup>129</sup>.

Por su parte, la importancia de la industria de componentes es igualmente crucial, pues aporta un 75% del valor total del vehículo. Además, dos tercios de estos proceden de fábricas en las proximidades de las plantas españolas de producción de vehículos. Entre los componentes, algunos de los cuales requieren desarrollo adicional para su implantación, se encuentran baterías, sistemas de carga de las mismas, sistemas de control, transmisiones, etc. o de infraestructuras. Esto ofrece oportunidades industriales con potencial de desarrollo y explotación, existiendo en la CAPV distintas iniciativas en esta línea.

La actividad industrial de componentes aporta 4.660 millones al PIB y tiene uno de los ratios de generación de valor mayores de toda la industria, generando 3,1 euros por cada euro de demanda de productos (García, 2015).

En la CAPV hay dos fabricantes con modelos eléctricos. Además, existe una importante industria de componentes para automóviles, con un volumen de

<sup>129</sup> Para más información ver anexo 9.

facturación de más de 15.000 M€, 300 empresas fabricantes, 260 plantas a nivel global, cubriendo el 50% de los componentes que se emplean en España. El sector supone entre el 22 y el 23% del PIB vasco e invierte en I+D un elevado porcentaje de su cifra de negocio. El nivel de exportación de componentes que se refiere a vehículos convencionales supone que la industria vasca de componentes depende en una parte importante de los fabricantes de vehículos y de lo que ocurra a nivel mundial.

### 4.3. Aspectos medioambientales

En este subapartado, se examina el tema de las emisiones de los vehículos denominados convencionales (gasolina y gasóleo) y de los de energías alternativas (electricidad, gas natural comprimido y gases licuados del petróleo), que forman parte del alcance de este estudio, tal como se ha reflejado en el apartado 4.1.

En las emisiones, conviene diferenciar con claridad entre las de gases de efecto invernadero, que habitualmente se miden en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2eq</sub>); y las emisiones contaminantes, como los óxidos de nitrógeno (i.e. NO y NO<sub>2</sub>), denominados NO<sub>x</sub> y las partículas.

Es bien conocido que las emisiones de gases de efecto invernadero tienen impacto sobre el calentamiento global, y por su naturaleza el enfoque es de carácter mundial, mientras que las de NO<sub>x</sub> o partículas tienen sobre todo un efecto local o zonal (por ejemplo, la ciudad de Bilbao o la zona de la Ría)<sup>130</sup>.

Lo anterior ha llevado a que en el análisis de gases de efecto invernadero se distinga para las diferentes energías, entre emisiones que se producen en el vehículo desde el tanque, o la “batería”, a la rueda, y las producidas “aguas arriba”, que incluyen las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente a lo largo de la cadena de suministro de cada energía,

Este enfoque para el CO<sub>2</sub> prevalece en los análisis, debates y discusiones sobre las comparaciones de las distintas energías para el transporte. La evaluación de los procesos completos seguidos por los combustibles es importante porque las emisiones de GEI, provocan efecto invernadero a escala global, de manera que no supone un problema limitado a las regiones o ciudades en donde se producen<sup>131</sup>.

También es habitual, en las comparaciones de los vehículos eléctricos (sean de batería o BEV, o híbridos enchufables PHEV) señalar que si bien localmente no se

<sup>130</sup> El NO<sub>x</sub> (mezcla de NO y NO<sub>2</sub>) tiene impacto sobre la salud, afectando especialmente a las vías respiratorias. El impacto depende del nivel de exposición, el cual no guarda una relación directa con la emisión; depende de la dispersión en el aire, y está afectada por la meteorología. Por tanto, resulta muy difícil deducir el impacto diferencial resultante en una zona específica sin analizar el conjunto. El N<sub>2</sub>O, sin embargo, no es tóxico, pero es un gas de efecto invernadero. En el caso de la producción de combustibles, en el pozo, está incluido (se determina como correlación en función de una combustión en el área del pozo para generación de electricidad, sin prestar atención al combustible o al tipo de equipo; por tanto, es de suponer que tiene considerables errores, pero como estimación global puede servir). No se ha incluido en la combustión para generación eléctrica en España, ya que su contribución es muy pequeña y no se dispone igualmente de datos de la instalación.

<sup>131</sup> En el análisis WTW también hay aumento de consumo y de emisiones de NO<sub>x</sub> y partículas, que sin embargo, al no circunscribirse a un efecto global sino regional, cobran más importancia en el TTW.

producen emisiones de CO<sub>2</sub> ni de NO<sub>x</sub>, se producen estas en las centrales térmicas de producción eléctrica. Surge así la necesidad de evaluar también estas emisiones en el lugar de su generación.

Teniendo en cuenta el carácter nacional o regional de la generación de energía eléctrica en distintos tipos de instalaciones (gas, carbón, renovables, nuclear), también debe considerarse lo que aquí se denomina las emisiones del sistema energético, que en el caso de la electricidad es equivalente a las emisiones del *mix* de generación eléctrico. La razón de denominarlo en este estudio sistema energético, es que en paridad también deben considerarse las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) y contaminantes (NO<sub>x</sub> y partículas) para el gas natural, las gasolinas, gasóleos y gases licuados del petróleo.

Las energías y los combustibles alternativos, electricidad, gas natural y GLP, que se examinan en este estudio, ofrecen ventajas medioambientales en la reducción de emisiones contaminantes (NO<sub>x</sub> y partículas) respecto a los vehículos de diésel anteriores a 2012. En el caso del vehículo eléctrico al eliminarse las emisiones contaminantes en la zona de utilización del vehículo, no se produce la exposición de los ciudadanos a las mismas; pero se verá más adelante, es importante establecer comparaciones considerando las emisiones (GEI, NO<sub>x</sub>, etc.) tanto *in situ* (del tanque a la rueda), como las del sistema energético del país al tanque y del origen de cada energía (del pozo) a la rueda (Edwards et al., 2014a) y (Edwards et al., 2014b).

El conjunto de producción, transporte, tratamiento y uso de los combustibles, incurre en balances de emisiones totales con resultados diferentes a los antes mostrados (Edwards et al. 2014a) y (Edwards et al, 2014b).

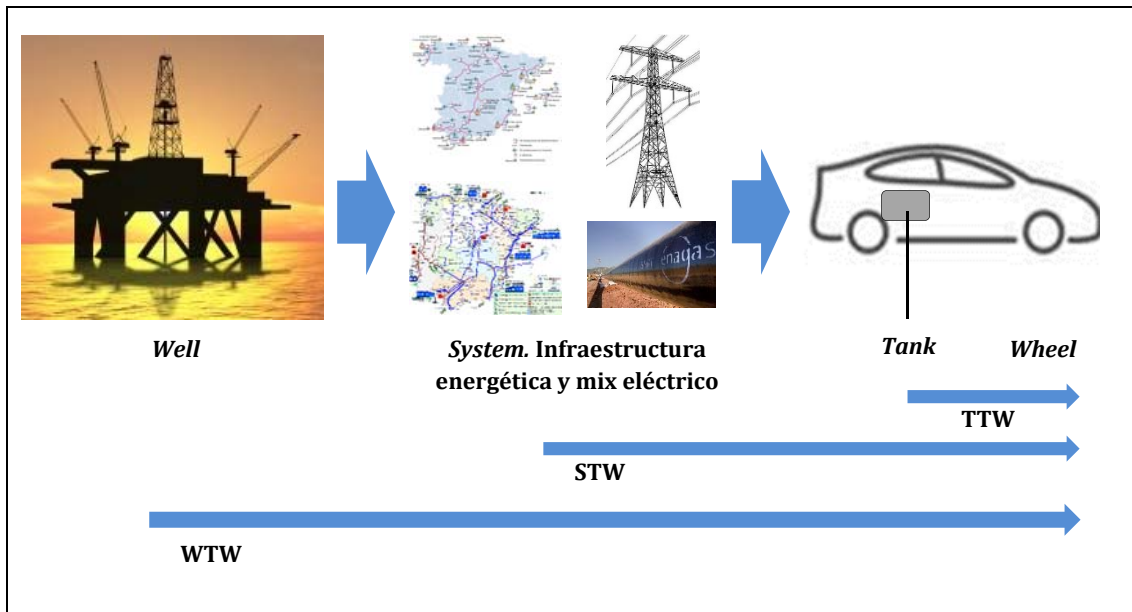
En el presente subapartado se examinan el CO<sub>2</sub>, el NO<sub>x</sub> y las partículas, y para los primeros, desde el tanque a la rueda (*Tank-to-Wheel*, en adelante también referido como TTW); desde el sistema energético español (electricidad, gas, productos petrolíferos), referido como STW, del sistema energético a la rueda; y finalmente desde el origen de la producción (el pozo) a la rueda el *Well-to-Wheel* (WTW).

Cabe resaltar que las emisiones de SO<sub>x</sub>, no citadas hasta este momento, fueron de las primeras emisiones que se abordaron mediante la regulación del contenido de azufre de los combustibles en sucesivas etapas a partir de 1996. A partir del año 2009 se ha establecido el límite del contenido de azufre en 10 ppm, límite de detección analítico. Por tanto, no se puede afirmar que la sustitución del diésel o la gasolina por GNV o autogás reduzca estas emisiones, ya que hoy en día, los combustibles convencionales no tienen azufre.

En este estudio no se plantea ir más allá cálculo de las emisiones de los equipos de producción de petróleo o gas, o por el lado de la utilización. Con respecto a las emisiones consecuencia por ejemplo de la fabricación de distintos tipos de vehículos, no parece haber diferencias sustanciales, aunque no se ha llevado a cabo una investigación a fondo sobre este asunto. Por otro lado no se han encontrado sobre el tema análisis homogéneos y comparativos, por tanto, los resultados, y las

aproximaciones a la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV)<sup>132</sup>, deberían tomarse, por el momento con cautela.

**FIGURA 19. Esquema comparativo entre TTW, STW y WTW**



Fuente: elaboración propia.

Nota: STW es desde la entrada al sistema energético, o del mix eléctrico, hasta la rueda. Es, a su vez, suma del sistema al tanque y del tanque a la rueda.

#### 4.3.1. Emisiones de CO<sub>2</sub> del tanque a la rueda (TTW)

En primer lugar, es necesario precisar que los datos del JRC respecto a las emisiones de efecto invernadero vienen dadas en gCO<sub>2eq</sub> por cada 100 kilómetros, unidad que se empleará en este trabajo. Sin embargo, en lo relativo al consumo eléctrico, se darán las emisiones en gCO<sub>2</sub> no equivalentes.

En segundo lugar, el estudio del JRC<sup>133</sup> diferencia entre vehículos actuales (referenciados al año 2010) y vehículos de nueva generación (los del año 2020 y sucesivos y que denomina 2020+). Las diferencias entre los años 2010 y 2020 son significativas<sup>134</sup>, tanto en términos de consumos energéticos como de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), expresados en gCO<sub>2eq</sub>/km.

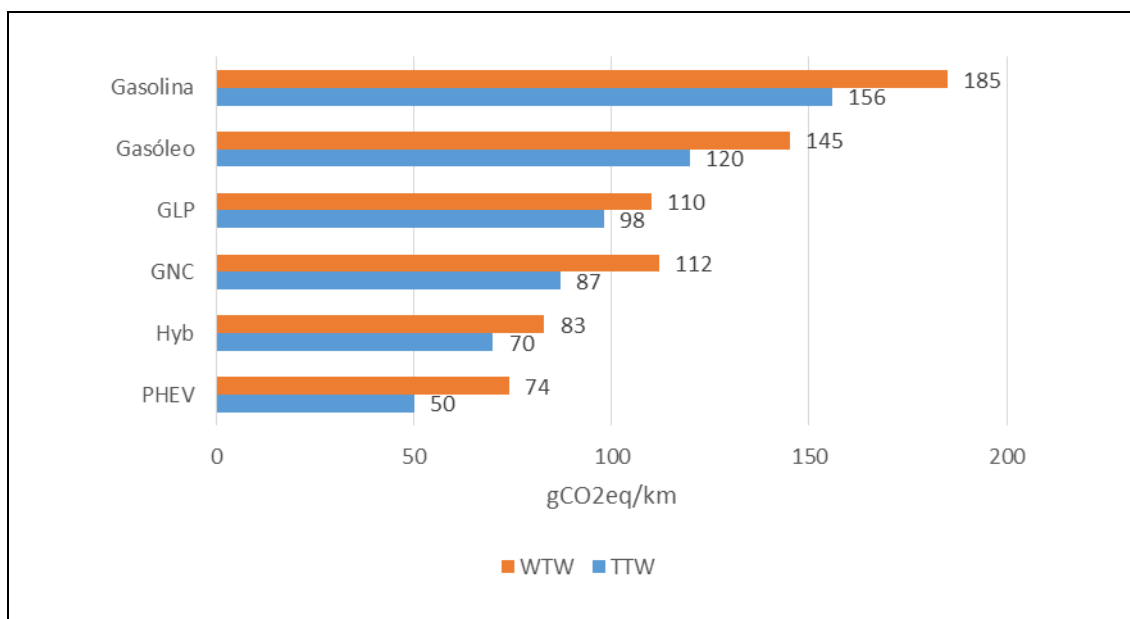
A efectos de este estudio, y teniendo en cuenta que en el capítulo 5, se examinan escenarios que contemplan un horizonte temporal a partir de 2020, deberían considerarse los vehículos susceptibles de ser sustituidos (gasolina y gasóleo), y comparar estos con las energías alternativas que serán introducidas a futuro y referenciadas, por tanto, a partir del año 2020 (2020+).

<sup>132</sup> El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) no se ha utilizado debido a la dificultad de comparaciones homogéneas. Al respecto puede verse el informe del JRC *Well-To-Wheels Report Version 4.a* (Edwards et al., 2014b). En cualquier caso, puede verse también el artículo *Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles* (Hawkins et al., 2012).

<sup>133</sup> (Edwards et al., 2014b)

<sup>134</sup> El lector interesado puede examinar la figura 3.2.2-2 de (Edwards et al., 2014b).

### GRÁFICO 36. Emisiones de CO<sub>2eq</sub> del tanque a la rueda (TTW) y del pozo a la rueda (WTW)



Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b).

Nota: Adviértase que los valores representados en este gráfico son los que aporta el informe del JRC, sin considerar los incrementos según la EEA que se explican a continuación. El caso del PHEV es para un *mix* eléctrico medio europeo.

Según la Agencia Europea de Medioambiente (EEA, 2016), las emisiones medias de CO<sub>2</sub> de certificación de los vehículos en los ciclos NEDC<sup>135</sup> pueden resultar aproximadamente un 30% inferiores a las reales<sup>136</sup>. Teniendo esto en cuenta, se emplean los valores TTW del JRC incrementados en este porcentaje, para los motores de combustión interna, es decir, gasóleo, gasolina, GNC y GLP.

Se aplica el mismo criterio para las emisiones de los híbridos (no enchufables y enchufables), en lo relativo al consumo y emisiones de gasolina<sup>137</sup>. La proporción de dichas emisiones respecto a la gasolina, en base a las cifras del JRC, resultan ser 32% de las emisiones de la gasolina, en el caso del PHEV; 44% de las emisiones de la gasolina, en el caso del híbrido.

$$\text{Emisiones CO}_{2\text{eq}} \text{ TTW} = \text{Valores JRC TTW} * (1+0,3)$$

En el caso de los PHEV, recuérdese que el consumo de gasolina tiene lugar cuando la autonomía de las baterías no es suficiente, lo que suele ocurrir en

<sup>135</sup> *New European Driving Cycle*, en inglés, o Nuevo Ciclo Europeo de Conducción. Es un ciclo de conducción de prueba basado en la legislación europea relativa a las emisiones, que busca calcular el impacto medioambiental de los automóviles, de cara a poder informar a los consumidores.

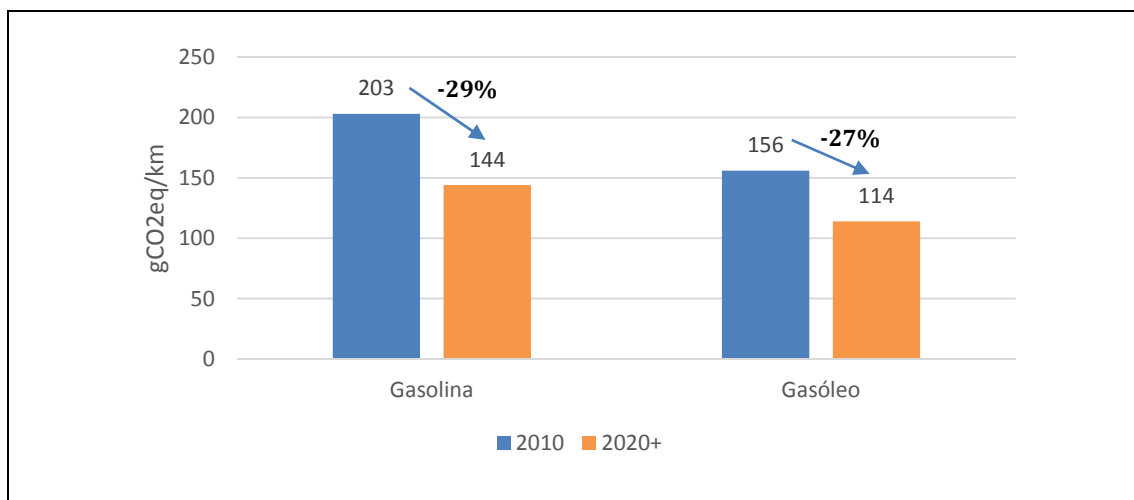
<sup>136</sup> Para una aproximación en detalle a las diferencias entre los ciclos de certificación y las emisiones medias, puede consultarse el documento de la Agencia Europea de Medioambiente, *Explaining road transport emissions. A non-technical guide* (2016).

<sup>137</sup> Aunque existen la tecnología híbrida con gasóleo, los vehículos híbridos son predominantemente de gasolina, de manera que este estudio se centra en este combustible para los híbridos y PHEV.

desplazamientos extraurbanos. De esta manera, las emisiones TTW pueden ser menores o equipararse a las del BEV, según sea la situación<sup>138</sup>.

No se ha de olvidar, en cualquier caso, que también existen valores 2020+ para gasolina y gasóleo, que al igual que con el resto de energías, estos implican menores consumos y emisiones TTW que sus homólogos referenciados a 2010. Por tanto, y como se puede apreciar en el siguiente gráfico, la evolución de los vehículos convencionales también supondrá reducciones de emisiones de GEI; sin embargo, la sustitución de gasolina y gasóleo por versiones más eficientes no es objeto de este estudio. En cualquier caso, la aplicación de los valores 2010 da una idea de la reducción máxima posible de emisiones GEI TTW.

**GRÁFICO 37. Emisiones de GEI de combustibles convencionales TTW 2010 y 2020+**



Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b).

#### 4.3.2. Emisiones del sistema energético a la rueda (STW)

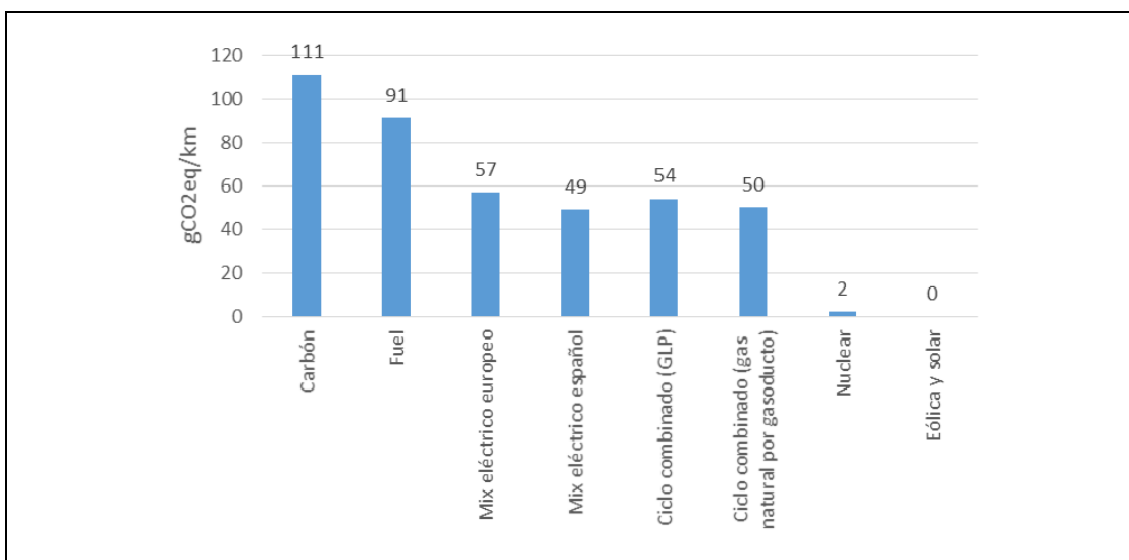
Se incorpora el concepto de “del sistema a la rueda” (STW o *system-to-wheels* en inglés), para evaluar las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen en la cadena de suministro dentro del país, de acuerdo con el sistema energético de distribución español. Esto sólo se aplica a los casos de consumo de electricidad. Se supone aquí que el BEV emite lo estrictamente relacionado con la generación del *mix* eléctrico español antes mencionado, pero sin los incrementos debidos a la producción y generación de los combustibles. En el caso del PHEV sería, de nuevo, un 26% de estos valores.

Si se reduce la comparación con los vehículos eléctricos, en la figura siguiente pueden apreciarse para el periodo 2020+ las manifiestas ventajas en términos de consumo de energía y de emisión de GEI, tanto en los híbridos enchufables (PHEV) como en los eléctricos puros (BEV).

<sup>138</sup> En cualquier caso, la conducción es siempre un factor que influye en la eficiencia del consumo y por tanto en las emisiones de CO<sub>2</sub>.



**GRÁFICO 38. Emisiones WTW de GEI para BEV 2020+**



Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b).

Para el cálculo de estas emisiones se ha procedido a evaluar la fracción de emisiones, tanto de CO<sub>2</sub> como de NO<sub>x</sub> y partículas, correspondientes al sistema energético, es decir STT o del sistema al tanque. El proceso de lógica y cálculo de cada una de estas se puede ver en el anexo 5. De esta manera, para hallar las emisiones STW, a las STT se le añaden las TTW.

$$\text{Emisiones STW} = \text{STT} + \text{Valores JRC TTW} * (1+0,3)$$

Dado que en el caso del BEV las emisiones TTW son nulas (y en el caso del PHEV en lo relativo a su consumo eléctrico), las emisiones STW serán las STT, es decir, las relativas al sistema de generación eléctrica español. Sin embargo, las emisiones asignadas son las del sistema de generación actual peninsular. De esta manera, estas emisiones se situarían, para un promedio de los años 2013, 2014 y 2015, en 237 kgCO<sub>2</sub>eq/MWh<sup>139</sup>, es decir, 49 gCO<sub>2</sub>eq/km<sup>140</sup>, en base a datos de Red Eléctrica (REE, 2017).

En cualquier caso, puede verse en la siguiente tabla que las previsiones de la Unión Europea para España son las de una reducción progresiva a largo plazo, por lo que el vehículo eléctrico será capaz de mejorar su impacto ambiental conforme varíe el sistema eléctrico.

**TABLA 45. Reducción de emisiones de GEI del sistema eléctrico español (MtCO<sub>2</sub>eq)**

	2015	2020	2030	2050
<b>MtCO<sub>2</sub>eq</b>	81,2	78,3	37	16,9
<b>Reducción (base 100=2015)</b>	100	96	46	21

Fuente: reelaborado a partir de (Comisión Europea, 2016).

<sup>139</sup> Asumiendo una generación eléctrica un 13% superior al consumo final de electricidad debido a pérdidas en transporte y distribución y al consumo por bombeo.

<sup>140</sup> Para un consumo de 0,18 kWh/km.

Si bien estos datos confirman una tendencia a la baja en emisiones de CO<sub>2eq</sub> del sistema eléctrico español, estas previsiones no son vinculantes si no indicativas. Atendiendo a los objetivos de reducción de emisiones, para estimar cómo podrían reducirse las emisiones del sistema eléctrico se ha tomado como base el cumplimiento de la estrategia de la Unión Europea de alcanzar una contribución del 20% de las energías renovables en el consumo final. Aunque se trata de un objetivo a 2020, se asume su cumplimiento a 2025.

Los supuestos tomados en base a dicho cumplimiento han sido: a) crecimiento del PIB con un 2% de media anual hasta 2025; b) se mantiene la generación nuclear actual y también la hidráulica; c) no se produce energía eléctrica con carbón; d) el balance energético se cierra con la operación de los ciclos combinados; e) no se producen cambios significativos en la estructura económica actual, f) la aportación de renovables al consumo de energía final se mantiene igual a la de los últimos años; y g) no hay incremento en generación eléctrica a partir de residuos renovables y no renovables con respecto a la situación actual.

Bajo estos supuestos y partiendo de datos de Eurostat (2017), las emisiones de CO<sub>2</sub> serán 131 kgCO<sub>2eq</sub>/MWh<sup>141</sup>, lo que se traduciría en unas emisiones de 24 gCO<sub>2eq</sub>/km<sup>142</sup>. Esto puede verse representado gráficamente al final del capítulo.

En el estudio se han considerado los valores promedio para el período 2013-2015, por lo que las reducciones de CO<sub>2</sub> en los supuestos de sustituciones por vehículos eléctrico serán mayores.

#### 4.3.3. Emisiones de CO<sub>2</sub> WTW

El estudio se centra en el CO<sub>2</sub> debido a que su capacidad de provocar calentamiento global es independiente de su punto de emisión, mientras que en el caso de los contaminantes su efecto perjudicial depende primordialmente de la cercanía de los ciudadanos a los puntos de emisión.

El criterio seguido para gasóleo, gasolina, GNC, GLP e híbrido ha sido el de tomar los valores TTW del JRC como se ha descrito hasta ahora, con el mismo incremento del 30%, para luego añadirles los valores WTT (del pozo al tanque, *well-to-tank* en inglés), en lugar de tomar los valores WTW del JRC directamente.

$$\text{Emisiones CO}_{2\text{eq}} \text{ WTW} = \text{Valores JRC TTW} * (1+0,3) + \text{Valores JRC WTT}$$

En el caso del BEV, los valores tomados son los de las emisiones de CO<sub>2</sub> del *mix* eléctrico español según Red Eléctrica de España en el año 2016, para los que se han aplicado, según fuentes de generación, los correspondientes incrementos en

<sup>141</sup> Asumiendo una generación eléctrica un 13% superior al consumo final de electricidad debido a pérdidas en transporte y distribución y al consumo por bombeo.

<sup>142</sup> Para un consumo de 0,18 kWh/km.

emisiones para la obtención del combustible y su transporte<sup>143</sup>. Además, se considera que hay un 10% de pérdida de energía por el transporte de electricidad.

Si se trata del PHEV, al valor WTT incrementado se le añade el 26%<sup>144</sup> de las emisiones del BEV según lo que se describe a continuación.

Emisiones CO<sub>2</sub> WTW PHEV = Valores JRC TTW \* (1+0,3) + Valores JRC WTT + Emisiones CO<sub>2</sub> WTW BEV \* 0,26

#### 4.3.4. Emisiones de NO<sub>x</sub> y partículas TTW y STW

La primera cuestión antes de abordar este aspecto es la relativa a la capacidad de reducción de las energías alternativas de las emisiones contaminantes. Una realidad respecto a esto es que existe una gran disparidad de datos que no permiten de una forma fehaciente cuantificar con rigor en qué medida cada una de las energías alternativas permiten reducir estas emisiones<sup>145</sup>.

En lo relativo a la gasolina y gasóleo se emplean en el estudio los límites Euro 6<sup>146</sup>. Conviene subrayar que el uso de las normas Euro 6<sup>147</sup> para el parque actual es “optimista”, ya que no todo el parque está formado por vehículos que la cumplen, ya que el parque actual tiene una proporción importante de Euro 4 y Euro 5. De esta manera, la sustitución por energías alternativas, al considerar un parque de menores emisiones que el real, constituye un valor mínimo de reducción de emisiones, ya que en realidad las emisiones del parque (con Euro 4 y 5) son superiores a las de los supuestos.

En el caso de GNC y los GLP, no parecen existir referencias probadas de emisiones de NO<sub>x</sub> y partículas. Ante esto, una alternativa sería la de fijar las cifras límite que establece la normativa, que en el caso de los motores de ciclo Otto será de 60 mg/km.

Por otro lado, la Administración, en el Marco de Acción Nacional y en la Estrategia de Impulso del VEA 2015-2020, señala que en NO<sub>x</sub> y partículas tanto el gas natural como los GLP reducen las emisiones. Las asociaciones por su parte, GASNAM<sup>148</sup> y la

<sup>143</sup> 5% de incremento para el carbón, según el *Department of Energy* de Estados Unidos, y 21% de incremento para el gas natural según las proporciones del JRC.

<sup>144</sup> Proporción de consumo eléctrico entre el PHEV y el BEV según los valores del JRC.

<sup>145</sup> Para más información sobre cómo se producen los contaminantes en los motores de energías alternativas, una fuente de interés es el capítulo 15 del libro *Motores de combustión interna alternativos* (Lapuerta y Ballesteros, 2011).

<sup>146</sup> La EEA también señala que las emisiones reales de NO<sub>x</sub> pueden ser superiores a las que indica la norma Euro 6, incrementándose los valores hasta siete veces en condiciones reales según distintas fuentes que el documento menciona (EEA, 2016). Sin embargo, estas emisiones no están directamente relacionadas con el consumo, mientras que la EEA señala que sí es el caso del CO<sub>2</sub>, de ahí el incremento del 30% señalado antes. Además, el uso de catalizadores influyen en las emisiones contaminantes, de manera que los valores reales de emisiones deberían ser certificados por la nueva prueba RDE y no se ha optado por aplicar incrementos en los supuestos.

<sup>147</sup> Adviértase que en emisiones contaminantes se utilizan como base, las emisiones de los vehículos Euro 6, mientras que para las emisiones de GEI, se emplean los datos de 2010. La razón en la diferencia de criterios se debe a la disponibilidad de datos.

<sup>148</sup> Según GASNAM, las emisiones de NO<sub>x</sub> del gas natural son un 50% inferiores a las de los límites permitidos, siendo en concreto las de NO<sub>2</sub> nulas. En cuanto a las partículas, éstas apenas están en el umbral de medida, siendo un 4% del límite (GASNAM, 2016c).

AOGLP<sup>149</sup>, señalan reducciones respecto a los vehículos convencionales muy acusadas en función de los valores aportados por los fabricantes, que sin embargo no parecen estar acreditadas por certificaciones, ni en laboratorio ni en carretera.

En este sentido, conviene apuntar que la nueva normativa implica un nuevo test de medición de emisiones de conducción real (RDE), lo que a futuro supondrá contribuir con mayor número de datos a esta cuestión.

No existiendo pues, referencias probadas<sup>150</sup> de emisiones de NO<sub>x</sub> y partículas, se ha optado por suponer un cierto nivel de reducción. De acuerdo con el MAN, se indica que el GNC emite cantidades del orden de 50 mg/km de NO<sub>x</sub> y de 1 mg/km de PM<sub>2,5</sub> (Gobierno de España, 2016). En cuanto a las emisiones de los GLP, a estos se le asigna en dicho documento porcentajes de reducción similares<sup>151</sup> a los del GNC respecto a la gasolina, por lo que se han asumido los mismos valores en los dos combustibles.

Estas cifras son coherentes con las que se establecen en el anexo 5, cuyo propósito fundamental es, a partir de las emisiones del tanque a la rueda, llegar a la elaboración de los valores del sistema a la rueda. En cualquier caso, los resultados, en sus cifras de orden, y por los análisis de sensibilidad, ponen de manifiesto que la aplicación de emisiones inferiores a las aquí supuestas no afectarían a los resultados fundamentales del estudio.

Para el cálculo de las emisiones STW, se aplica el mismo criterio que en el caso de los GEI, tomándose los valores TTW y añadiendo los valores STT según el anexo 5.

Aquí de nuevo, las emisiones TTW del BEV (y del PHEV en lo que corresponde al consumo eléctrico) serán nulas para sus valores TTW, siendo las STW las correspondientes al sistema de generación eléctrica. Como ocurre con las emisiones de GEI, el parque actual emite hoy en día más cantidades de gases contaminantes que las previstas en el futuro con la introducción de renovables y la desnitrificación de centrales. En este sentido, cobra importancia la progresiva reducción de los techos de emisión de España que el Plan Nacional Transitorio (MAGRAMA, 2013) establece y que se puede ver en la siguiente tabla.

**TABLA 46. Reducción de techos de emisión de contaminantes (t/año)**

	2016	2017	2018	2019	2020
<b>NO<sub>x</sub></b>	77.756	65.893	54.029	42.165	21.083
<b>Partículas</b>	10.078	8.030	5.983	3.935	1.968

Fuente: reelaborado a partir de (MAGRAMA, 2013).

<sup>149</sup> Según la AOGLP, las emisiones de NO<sub>x</sub> de los GLP son un 96% inferiores a las de los límites permitidos. En cuanto a las partículas, éstas se reducen un 99% (AOGLP, 2017).

<sup>150</sup> Existen estudios de relevancia que apuntan a una reducción de emisiones contaminantes del gas natural en transporte de mayor masa que los turismos, como las del DOE (Werpy et al., 2010).

<sup>151</sup> Para Repsol (2014), las emisiones de NO<sub>x</sub> y partículas de gas natural y GLP sí son similares entre sí; si bien las de NO<sub>x</sub> están en el mismo orden que las del MAN, las de partículas serían nulas para ambos casos.

Siguiendo lo anterior, los valores de emisiones empleados en los cálculos en el siguiente capítulo son los que se muestran a continuación.

**TABLA 47. Resumen de los principales supuestos relativos a las emisiones**

Tipo de vehículo	Emisiones TTW			Emisiones STW			Emisiones WTW
	GEI (gCO <sub>2</sub> eq/km)	NO <sub>x</sub> (mg/km)	PM (mg/km)	GEI (gCO <sub>2</sub> eq/km)	NO <sub>x</sub> (mg/km)	PM (mg/km)	GEI (gCO <sub>2</sub> eq/km)
Gasolina (2010)	203	60	5	218	73	5,2	232
Gasóleo (2010)	156	80	5	171	93	5,2	181
BEV (vehículo eléctrico de batería) (2013-2015)	0	0	0	48,5	86	2,9	55
PHEV (híbrido enchufable) (2020+)	65	20	1,6	86	46	2,4	88
GNC (gas natural comprimido) (2020+)	113	50	1	118	57	1,4	137
GLP (gases licuados del petróleo) (2020+)	127	50	1	130	52	1,2	139
Hyb (híbrido) (2020+)	91	30	2,2	98	32	2,3	104

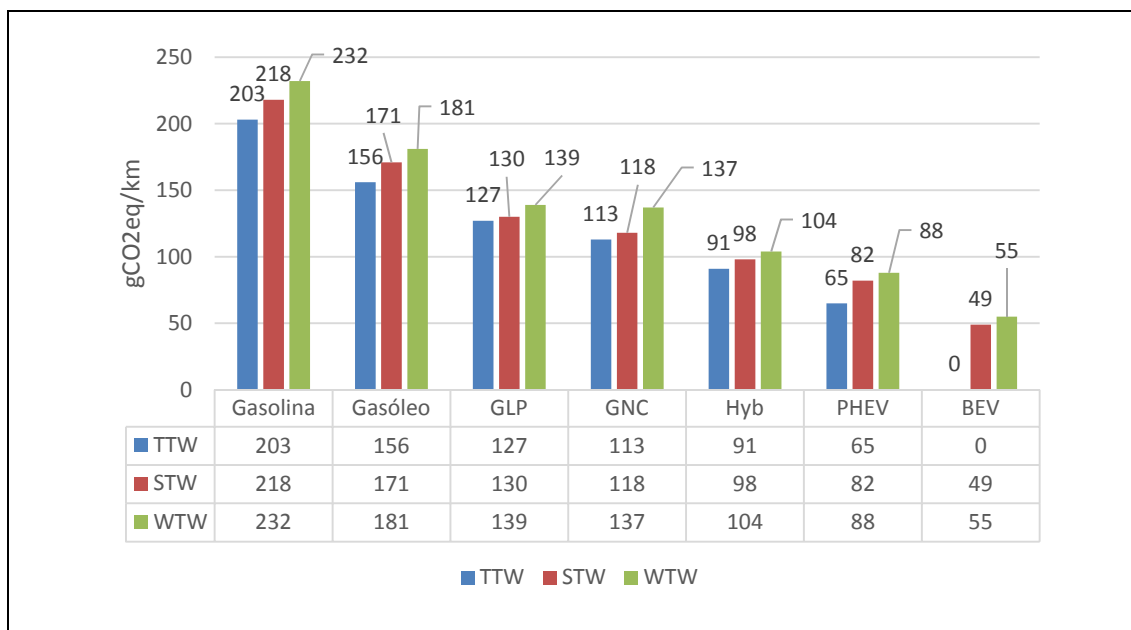
■ Relevante a nivel local/zonal    ■ Relevante a nivel del sistema energético peninsular

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: El consumo eléctrico del PHEV es en base al consumo del BEV, es decir, emisiones del mix eléctrico actual.

Nota 2: Las emisiones de partículas en cuanto a consumo eléctrico es PM<sub>10</sub>.

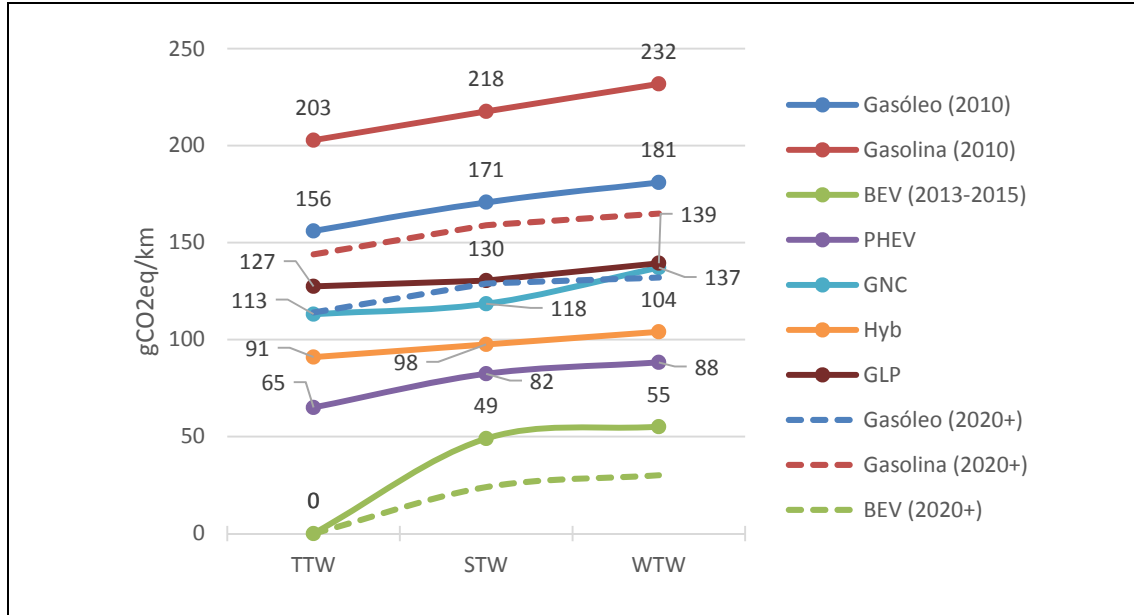
**GRÁFICO 39. Comparación de emisiones GEI por tipo de vehículos (TTW, STW y WTW)**



Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b), (MAGRAMA, 2014), (Werpy et al., 2010) y (REE, 2016).

En el siguiente gráfico puede verse la progresión de emisiones TTW-STW-WTW anterior, pero apreciándose la diferencia de pendiente del TTW al WTW según el tipo de energía considerada. Por tanto, no es lo mismo pasar del STW al WTW para una tecnología u otra, lo que se verá reflejado en los cálculos del capítulo 5<sup>152</sup>.

**GRÁFICO 40. Emisiones de CO<sub>2eq</sub> TTW, STW y WTW por tipos de vehículos**



Fuente: elaboración propia.

Nota: Para mejorar la visibilidad de los valores, las emisiones de gasóleo, gasolina y BEV 2020+ se indican aquí. Gasóleo (gCO<sub>2eq</sub>/km): TTW 114, STW 129, WTW 132. Gasolina (gCO<sub>2eq</sub>/km): TTW 144, STW 159, WTW 165. BEV (gCO<sub>2eq</sub>/km): STW 24, WTW 30.

Si estas mismas emisiones se comparan frente al TTW como base cien, se pueden apreciar las variaciones porcentuales como muestra la siguiente tabla.

**TABLA 48. Variación de emisiones GEI por tipo de vehículos (base 100=TTW)**

	TTW	STW	WTW
<b>Diésel</b>	100	109	116
<b>Gasolina</b>	100	107	114
<b>BEV</b>	-	100	113
<b>PHEV</b>	100	127	136
<b>GNC</b>	100	105	121
<b>GLP</b>	100	102	109
<b>Hyb</b>	100	107	114

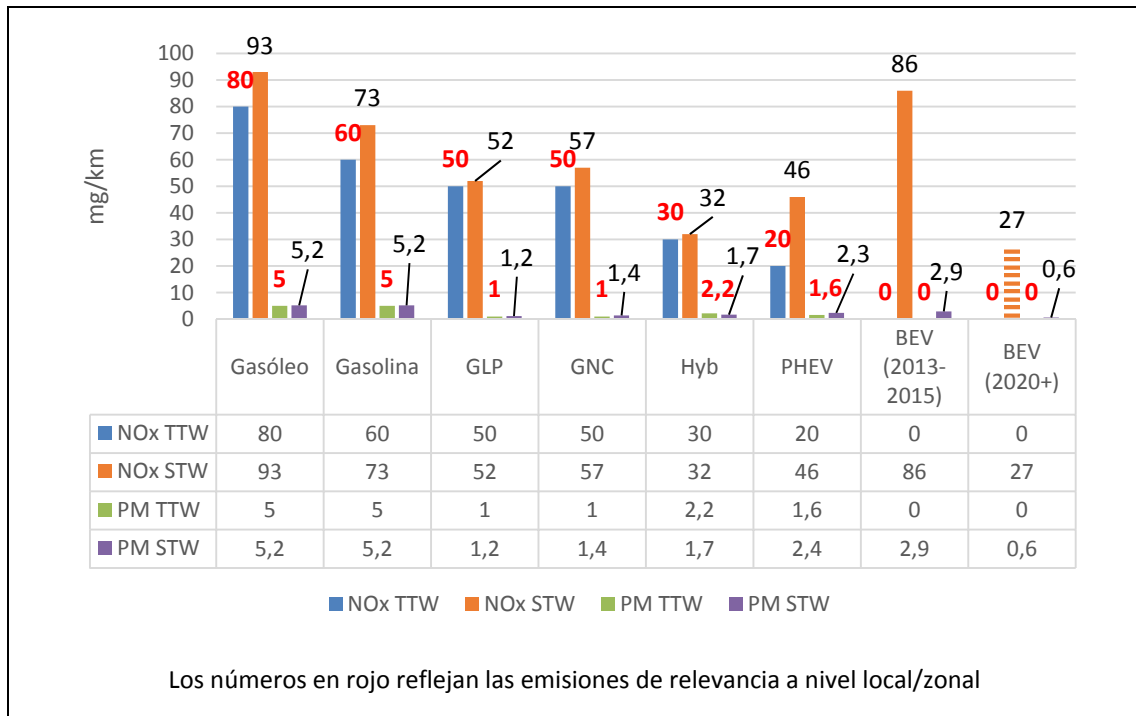
Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b), (MAGRAMA, 2014), (Werpy et al., 2010) y (REE, 2016).

Nota: Para el BEV, base 100=STW.

<sup>152</sup> Al establecer las sustituciones de vehículos convencionales por otras energías (como el vehículo convencional por GNC), no ocurre que en todos los casos se dé más reducción de emisiones yendo “aguas arriba”.

Respecto a las emisiones contaminantes, se representan en el siguiente gráfico, tanto para del tanque a la rueda como para del sistema a la rueda.

**GRÁFICO 41. Emisiones contaminantes por tipo de vehículos (TTW y STW)**



Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b), (MAGRAMA, 2014), (Werpy et al., 2010) y (REE, 2016).

Nota: Las emisiones de partículas debidas al consumo eléctrico son PM10.

## 5. APLICACIÓN A LA CAPV. CASOS, ESCENARIOS Y RESULTADOS

Para analizar el impacto de la penetración de vehículos de energías alternativas en el transporte de pasajeros por carretera en la CAPV, se han considerado zonas con un número de desplazamientos que tengan la suficiente entidad o que al menos sean “suficientemente representativas” y no supongan fenómenos aislados.

Por ello, en base a las estadísticas de desplazamiento del Estudio de la Movilidad realizada en la CAPV (Gobierno Vasco, 2012) que se recogen en el anexo 6, se han identificado las comarcas más relevantes en cuanto a número de desplazamientos, que se denominarán en adelante *casos*.

Para cada uno de estos, se ha establecido una *ruta* que abarque gran parte del territorio o que al menos cubra una distancia relevante entre núcleos urbanos u otros puntos de interés (por ejemplo, entre Bilbao y San Sebastián).

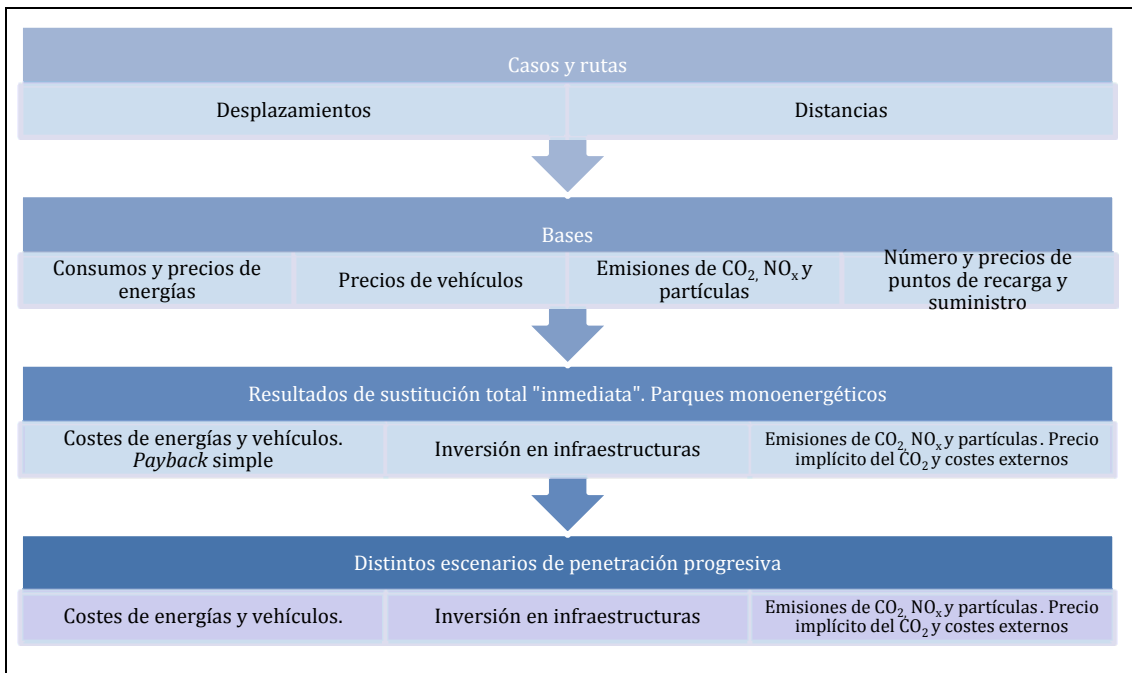
A partir de la elección de casos y sus rutas correspondientes, en base a los distintos supuestos de consumos, costes y emisiones que se han visto en el capítulo 4, y teniendo en cuenta el parque de turismos de combustibles convencionales (gasolina y gasóleo), se ha llevado a cabo un ejercicio para evaluar, en una primera aproximación, la sustitución total de estos por turismos de energías alternativas, lo que se recoge en el apartado 5.2. Es decir, se trata de evaluar el impacto de la sustitución total del parque existente de vehículos convencionales por un parque compuesto únicamente por vehículos eléctricos (BEV y PHEV), por vehículos propulsados por gas natural comprimido (GNC), por turismos propulsados por gases licuados del petróleo (GLP) o por híbridos convencionales (Hyb). Es decir, por parques homogéneos (“monoenergéticos”) en los que la sustitución sea completa y sin fases progresivas.

Por tanto, las sustituciones totales que se abordan en el apartado 5.2 tratan supuestos no realistas, pero que permiten realizar comparaciones que facilitan, el análisis de resultados “macro” entre las alternativas en términos de costes y beneficios ambientales y económicos. Esto permite, además, que los ciudadanos y otros agentes interesados, conozcan las implicaciones básicas de carácter general de la introducción de las energías alternativas. Por otro lado, en el apartado 5.3 se ha evaluado la introducción de energías alternativas de forma progresiva, utilizando para ello varios supuestos y escenarios, que se explican en dicho apartado.

En la siguiente figura, se recoge en un esquema, el procedimiento de trabajo que se ha seguido en este capítulo. De esta manera, en el apartado 5.1 se recogen los casos, los supuestos y las hipótesis (en la figura casos y rutas y bases).



**FIGURA 20. Esquema de desarrollo del presente capítulo**



Fuente: elaboración propia.

A continuación, en el apartado 5.2 se analiza la sustitución del parque automovilístico convencional seleccionado, por cada una de las alternativas objeto de estudio (sustituciones totales o "monoenergéticas"), donde se describirán los resultados en términos económicos y medioambientales, se realizará un breve análisis de sensibilidad y se presentarán las principales conclusiones obtenidas de carácter más bien "macro". En el apartado 5.3, se procede a estudiar las sustituciones progresivas, planteando en primer lugar unos supuestos para la elaboración de escenarios a futuro. A continuación se recogen los principales resultados, de nuevo, en términos económicos y medioambientales para terminar con unas breves conclusiones.

## 5.1. Casos, supuestos e hipótesis

### 5.1.1. Casos

Los casos seleccionados superan los 100.000 desplazamientos en un día laborable, según el Estudio de la Movilidad del País Vasco de 2011<sup>153</sup>, y se muestran en la figura siguiente

<sup>153</sup> Datos disponibles en el momento de realización de la parte principal de este trabajo.

FIGURA 21. Casos seleccionados



Fuente: elaboración propia a partir de (FCE, 2016) y (Google Maps, 2016).

Nota: Recuérdese que el Estudio de la Movilidad del País Vasco 2011 diferencia las capitales de provincia de sus respectivas comarcas, por lo que aquí se mantiene ese procedimiento.

Dado que la mayoría representan desplazamientos en el interior de las comarcas, se ha tratado también de escoger rutas representativas entre estas. Por un lado destacan los desplazamientos entre Plentzia-Mungia y Bilbao y el Gran Bilbao (intraterritorial), y por otro son representativos los desplazamientos de Bilbao a Vitoria-Gasteiz o a Donostia (interterritoriales). Para los desplazamientos se ha tomado la suma de ambos sentidos. Una vez escogidos los casos, se ha buscado una ruta representativa entre núcleos urbanos para obtener la distancia recorrida (columna km de la siguiente tabla).

Por otro lado, se han tomado los desplazamientos seleccionados (D./día en la tabla siguiente), y a estos se les ha aplicado el porcentaje<sup>154</sup> que corresponde a los desplazamientos en automóvil (turismo). En cuanto a la tasa de ocupación media, se ha tomado el resultado de la relación entre los desplazamientos totales en vehículo y los desplazamientos como conductor, lo que arroja un valor medio para toda la CAPV de 1,2 personas (pas)/vehículo.

La multiplicación de las columnas km y D.Aut./día da lugar a la columna km/día, siendo estos los kilómetros recorridos por los coches en un día laborable, para cada caso. Para evitar la doble contabilización del número de automóviles que se desplazan, se ha considerado<sup>155</sup>, que los vehículos de última matriculación recorren anualmente una media de 20.000 km<sup>156</sup> (FACONAUTO, 2016), o lo que es lo mismo,

<sup>154</sup> Para casos intraurbanos es 18,9% (desplazamientos dentro de la misma ciudad); 61,8% para intracomarcales (desplazamientos dentro de la misma comarca); 78,9% para intraterritoriales (desplazamientos entre comarcas en la misma provincia); y 82% para interterritoriales (desplazamientos entre comarcas en provincias distintas).

<sup>155</sup> Para los cálculos en general se ha usado la suma de los desplazamientos entre una y otra comarca en ambos sentidos. Sin embargo, para el cálculo de los automóviles, sólo se considera sentido, escogiéndose siempre el que más desplazamientos presenta.

<sup>156</sup> Para los turismos matriculados en 2014.

80 kilómetros de media diaria si sólo se consideran los 249 días laborables del año 2011 (año del Estudio de la Movilidad). Un gráfico sobre la evolución de los kilometrajes anuales puede verse en el anexo 7. Estos serán los datos utilizados, aplicando los supuestos de consumo y emisiones, para calcular los resultados en cada caso.

En este estudio se ha llevado a cabo una selección de catorce casos que por el número de desplazamientos sobresalen del resto. Como se puede ver en la tabla que sigue, los casos elegidos cubren el 72% de la CAPV, en términos de desplazamientos diarios; por lo que se considera que los análisis y los resultados son suficientemente representativos para el conjunto de la CAPV.

**TABLA 49. Casos seleccionados**

Casos	Rutas	km	D./día	D.Aut./día	% CAPV	% selección	Mpas-km/año	% selección	km/día
Vitoria-Gasteiz	Ullibarri de los Olleros-Aeropuerto de Vitoria	27,4	659.280	103.837	11	15	850	7	2.845.123
Duranguésado	Durango-Ermua	15,8	191.595	98.671	3	4	466	4	1.559.009
Bilbao	Basarrate-San Inazio	7,1	887.013	139.705	14	21	296	2	991.902
Gran Bilbao	Goikolexea-Cobaron	41,1	1.049.595	540.541	17	24	6.638	54	22.216.253
Alto Deba	Mondragón-Vergara	12,2	155.473	80.069	3	4	292	2	976.837
Bajo Bidasoa	Irún-Fuenterrabía	6,9	183.687	94.599	3	4	195	2	652.732
Bajo Deba	Eibar-Motrico	26,2	118.330	60.940	2	3	477	4	1.596.627
Donostia-San Sebastián	Lugaritz-Herrera	9,7	491.719	77.446	8	11	224	2	751.224
Donostialdea	Rentería-Hernani	15,5	256.860	132.283	4	6	613	5	2.050.385
Goierri	Beasain-Zumarraga	14,5	151.360	77.950	2	4	338	3	1.130.281
Urola Costa	Zarauz-Azpeitia	25,9	169.811	87.453	3	4	677	5	2.265.024
De Bilbao a Plentzia-Mungia		21,9	90.782	59.689	1	2	391	3	1.307.193
De Bilbao a Vitoria		61,9	30.521	20.856	0,5	1	386	3	1.290.987
De Bilbao a San Sebastián		101	22.544	15.405	0,4	1	465	4	1.555.912
Subtotal			4.458.570	1.575.414	72	100	12.307	100	41.780.360
Total CAPV			6.200.572						

Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno Vasco, 2011) y (Google Maps, 2016).

Nota 1: D. = Desplazamientos y D.Aut = Desplazamientos de automóviles (turismos).

Nota 2: En el cálculo de Mpas-km/año no se aplica la tasa de ocupación de 1,2 pasajeros/automóvil, pero sí los porcentajes de desplazamiento en automóvil.

Nota 3: En el caso de las capitales vascas, el Estudio de la Movilidad ofrece un desglose en particular para cada una de ellas. De esta manera no es necesario aplicar la tasa del 18,9% para desplazamientos urbanos, ya que se pueden distinguir los desplazamientos motorizados en medios individuales como sigue (conductor+pasajero): Vitoria, 142.641+20.781; Bilbao, 83.224+13.164; Donostia, 87.408+21.131.

Nota 4: Para los desplazamientos de una capital hacia afuera, se han incluido sus comarcas correspondientes al tener un volumen de desplazamientos relevante. Así, de Bilbao a Plentzia-Mungia incluye los desplazamientos del Gran Bilbao en la misma dirección; los de Bilbao a San Sebastián incluye los del Gran Bilbao y Donostialdea en la misma dirección; y los de Bilbao a Vitoria incluye los de Gran Bilbao y la Llanada Alavesa en la misma dirección. Véase anexo 6.

A los kilómetros recorridos en automóvil obtenidos se les ha aplicado los supuestos para calcular los parámetros (costes y beneficios) de sustituciones totales (“monoenergéticas”) y de penetración progresiva, supuestos que se han analizado en el capítulo anterior, y que se resumen a continuación.

### 5.1.2. Supuestos e hipótesis

A continuación se recoge un resumen de los aspectos económicos y medioambientales, analizados en el capítulo 4, para mostrar, finalmente, los resultados de las sustituciones totales “monoenergéticas” y de las progresivas.

**TABLA 50. Resumen de los principales supuestos relativos a los aspectos económicos**

Tipo de vehículo	Combustible		Vehículo	Punto de recarga o suministro (k€)
	Consumo (por cada 100 km)	Precio	Precio (k€)	
Gasolina (2010)	8,3 l	1,24 €/l	14	n.a.
Gasóleo (2010)	5,9 l	1,13 €/l	16	n.a.
BEV (vehículo eléctrico de batería) (2013-2015)	18 kWh	Carga convencional: 0,1261 €/kWh Carga rápida: 0,50 €/kWh	34	Carga convencional: 2,4 Carga rápida: 50
PHEV (híbrido enchufable) (2020+)	2,9 l 4,7 kWh	1,24 €/l Carga convencional: 0,1261 €/kWh Carga rápida: 0,50 €/kWh	42	26% de la carga convencional del BEV
GNC (gas natural comprimido) (2020+)	4 kg	0,9 €/kg	25	500
GLP (gases licuados del petróleo) (2020+)	7,8 l	0,62 €/l	18	100
Hyb (híbrido) (2020+)	4 l	1,24 €/l	26	n.a.

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: Respecto al consumo del vehículo eléctrico (18 kWh/100km), este es un consumo que se asume en condiciones de conducción real; en función de la literatura, este puede variar entre 15 y 20 kWh/100km. La tarifa para la carga convencional se ha calculado mediante el comparador de tarifas de energía de la CNMC para una potencia de 3,7 kW y periodo supervalle (CNMC, 2017).

Nota 2: n.a. es no aplica. En cualquier caso, en la CAPV hay en torno a 280 estaciones de servicio (MINETUR, 2016a). En lo relativo a las infraestructuras, en el caso del BEV, se establecen 10 puntos para ciudades de más de 100.000 habitantes, 20 para más de 200.000 y 100 para más de un millón. En el caso del GNC, las cifras son, 1 punto para ciudades de más de 100.000 habitantes, 2 para más de 200.000 y 10 para más de un millón; y para el GLP, en función del número de automóviles, teniendo en cuenta que en la CAPV se deberían alcanzar 119 puntos de suministro frente a los 28 ya existentes. En el caso del PHEV, se considera que al existir instalaciones convencionales para el consumo de gasolina, sólo hacen falta instalaciones de carga convencional. Estas serían proporcionales al consumo eléctrico (26%).

**TABLA 51. Resumen de los principales supuestos relativos a las emisiones**

Tipo de vehículo	Emisiones TTW			Emisiones STW			Emisiones WTW
	GEI (gCO <sub>2</sub> eq/km)	NO <sub>x</sub> (mg/km)	PM (mg/km)	GEI (gCO <sub>2</sub> eq/km)	NO <sub>x</sub> (mg/km)	PM (mg/km)	GEI (gCO <sub>2</sub> eq/km)
Gasolina (2010)	203	60	5	218	73	5,2	232
Gasóleo (2010)	156	80	5	171	93	5,2	181
BEV (vehículo eléctrico de batería) (2013-2015)	0	0	0	48,5	86	2,9	55
PHEV (híbrido enchufable) (2020+)	65	20	1,6	86	46	2,4	88
GNC (gas natural comprimido) (2020+)	113	50	1	118	57	1,4	137
GLP (gases licuados del petróleo) (2020+)	127	50	1	130	52	1,2	139
Hyb (híbrido) (2020+)	91	30	2,2	98	32	2,3	104

■ Relevante a nivel local/zonal    ■ Relevante a nivel del sistema energético peninsular

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: El consumo eléctrico del PHEV es en base al consumo del BEV, es decir, emisiones del mix eléctrico actual.

Nota 2: Las emisiones de partículas en cuanto a consumo eléctrico es PM<sub>10</sub>.

## 5.2. Sustituciones totales. Parques “monoenergéticos”

En este apartado se recogen los resultados tras aplicar los supuestos e hipótesis anterior en los casos seleccionados.

La aplicación de los supuestos e hipótesis se ha realizado para obtener parques formados enteramente por un tipo de vehículo según sea el caso, es decir, parques “monoenergéticos”. Se consideran estas sustituciones como “inmediatas” porque no se entra a considerar el periodo de tiempo necesario para alcanzarlas. En este sentido puede visualizarse la hipótesis de una inversión que se realiza en el “año 0” y que en el “año 1” empieza a presentar resultados (en este caso económicos y medioambientales).

Teniendo en cuenta la información sobre precios y consumo, por un lado se muestran las diferencias en coste<sup>157</sup> del combustible y de sobrecoste de vehículos, y

<sup>157</sup> Las comparaciones son la diferencia del primero menos el segundo. Es decir, en el caso del Gran Bilbao, gasóleo vs BEV, la sustitución da lugar a un ahorro de 84,2 M€, lo que significa que el coste del combustible del BEV representa el 55% de lo que sería el coste del gasóleo. En cambio, en cuanto al vehículo, la diferencia es negativa, de manera que la sustitución implica un sobrecoste de 1.440 M€ y todos los vehículos eléctricos representan el 207% de todos los vehículos de gasóleo.

por otro los periodos de recuperación<sup>158</sup> de la inversión correspondiente (columnas tercera a quinta) en la tabla que sigue.

Asimismo, y en base a los desplazamientos y a los supuestos e hipótesis mencionadas, se recoge también la inversión necesaria para el desarrollo de infraestructuras de recarga para cada caso (estas se muestran en la columna sexta).

Por último, los consumos calculados permiten también obtener una comparativa de las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas para cada tecnología sustituida (columnas séptima a novena) en cada una de las diferentes etapas TTW, STW y WTW.

Por otra parte, debe entenderse en adelante la combinación del parque de gasóleo y gasolina que es sustituido como “convencional”<sup>159</sup>, o por la abreviación CONV.

Igualmente, nótese que en el trayecto entre Bilbao y San Sebastián, al tratarse principalmente de desplazamientos por autopista, el desarrollo de infraestructura para el vehículo eléctrico y el gas natural “no aplica” porque la distancia<sup>160</sup> no es lo suficientemente grande como para representar uno de los casos contemplados en la Estrategia de Introducción de los VEA y recogidos en el capítulo 4. En cualquier caso, según (Madina et al., 2016), el desarrollo de esta infraestructura en autopista tiene una rentabilidad más complicada que en áreas concretas, de manera que su desarrollo en el corto plazo no es esperable.

Respecto al híbrido, al tratarse de consumo de gasolina, no se contempla inversión necesaria. No es así en el caso de los GLP, que sin embargo no presentan cifras de orden comparables con el resto, al tratarse de una infraestructura ya muy desarrollada y requiere las menores inversiones (100.000 euros por estación de servicio [MINETUR, 2015b]).

---

<sup>158</sup> El periodo de recuperación de la inversión se ha calculado como un *payback* simple, siendo conscientes de que es una evaluación no rigurosa, pero que permite dar una idea simplificada de la diferencia entre escenarios.

<sup>159</sup> La proporción considerada será la de un 44% de turismos de tipo gasolina y un 56% gasóleo, según las estadísticas de la DGT (DGT, 2014).

<sup>160</sup> En el caso del vehículo eléctrico apenas supera el mínimo de 100 km.

TABLA 52. Resumen de resultados para sustituciones en parque de vehículos convencional por energías alternativas (1 de 4)

1: Casos	2: VEA	3: Ahorro en combustible (M€/año)	4: Sobrecoste de vehículos (M€)	5: Payback simple (años)	6: Inversión en infraestructuras (M€)	7: Reducción GEI (ktCO <sub>2</sub> eq/año)			8: Reducción (t/año)		9: Reducción partículas (t/año)	
						TTW	STW	WTW	TTW	STW	TTW	STW
Total	CONV por BEV	588	4.795	8	572	1.837	1.483	1.542	741	-19*	52	27*
	CONV por PHEV	413	6.954	17	143	1.161	1.135	1.202	541	400*	35	30*
	CONV por GNC	482	2.376	5	7	661	765	689	221	287	42	39
	CONV por GLP	357	660	2	2,60	512	637	665	221	332	42	0,2
	CONV por HYB	338	2.688	8	0	890	978	1.034	466	542	29	30
Bilbao	CONV por BEV	8	65	8	10	25	20	21	10	-0,3	1	0,4
	CONV por PHEV	6	95	17	2	16	15	16	7	5	0,5	0,4
	CONV por GNC	7	32	5	2	9	10	9	3	4	1	1
	CONV por GLP	5	9	2	0,04	7	9	9	3	5	1	0,003
	CONV por HYB	5	37	8	0	12	13	14	6	7	0	0,4
Gran Bilbao	CONV por BEV	313	2.550	8	334	977	789	820	394	-10	28	14
	CONV por PHEV	220	3.697	17	86	617	603	639	288	213	19	16
	CONV por GNC	256	1.263	5	3	351	407	366	117	153	22	21
	CONV por GLP	190	351	2	1,4	272	339	354	117	176	22	0,1
	CONV por HYB	180	1.429	8	0	473	520	550	248	288	15	16
Donostia-San Sebastián	CONV por BEV	12	101	8	14	39	31	32	16	-0,4	1	1
	CONV por PHEV	9	146	17	3	24	24	25	11	8	1	1
	CONV por GNC	10	50	5	1	14	16	14	5	6	1	1
	CONV por GLP	7	14	2	0,1	11	13	14	5	7	1	0,004
	CONV por HYB	7	56	8	0	19	21	22	10	11	1	1

Fuente: elaboración propia.   Relevante a nivel local/zonal   Relevante a nivel del sistema energético peninsular (\*) Ver nota tras final de esta tabla (4 de 4).

**TABLA 53. Resumen de resultados para sustituciones en parque de vehículos convencional por energías alternativas (2 de 4)**

1: Casos	2: VEA	3: Ahorro en combustible (M€/año)	4: Sobrecoste de vehículos (M€)	5: Payback simple (años)	6: Inversión en infraestructuras (M€)	7: Reducción GEI (ktCO <sub>2</sub> eq/año)			8: Reducción NO <sub>x</sub> (t/año)		9: Reducción partículas (t/año)	
						TTW	STW	WTW	TTW	STW	TTW	STW
Donostialdea	CONV por BEV	29	235	8	31	90	73	76	36	-1	3	1
	CONV por PHEV	20	341	17	8	57	56	59	27	20	2	1
	CONV por GNC	24	117	5	1	32	38	34	11	14	2	2
	CONV por GLP	17	32	2	0,1	25	31	33	11	16	2	0,01
	CONV por HYB	17	132	8	0	44	48	51	23	27	1	1
Urola Costa	CONV por BEV	32	260	8	34	100	80	84	40	-1	3	1
	CONV por PHEV	22	377	17	5	63	62	65	29	22	2	2
	CONV por GNC	26	129	5	0	36	41	37	12	16	2	2
	CONV por GLP	19	36	2	0,1	28	35	36	12	18	2	0,01
	CONV por HYB	18	146	8	0	48	53	56	25	29	2	2
Duranguesado	CONV por BEV	22	179	8	24	69	55	58	28	-1	2	1
	CONV por PHEV	15	259	17	6	43	42	45	20	15	1	1
	CONV por GNC	18	89	5	0	25	29	26	8	11	2	1
	CONV por GLP	13	25	2	0,1	19	24	25	8	12	2	0,01
	CONV por HYB	13	100	8	0	33	36	39	17	20	1	1
Alto Deba	CONV por BEV	14	112	8	15	43	35	36	17	-0,4	1	1
	CONV por PHEV	10	163	17	4	27	27	28	13	9	1	1
	CONV por GNC	11	56	5	0	15	18	16	5	7	1	1
	CONV por GLP	8	15	2	0,1	12	15	16	5	8	1	0,005
	CONV por HYB	8	63	8	4	21	23	24	11	13	1	1

Fuente: elaboración propia.  Relevante a nivel local/zonal  Relevante a nivel del sistema energético peninsular



**TABLA 54. Resumen de resultados para sustituciones en parque de vehículos convencional por energías alternativas (3 de 4)**

1: Casos	2: VEA	3: Ahorro en combustible (M€/año)	4: Sobrecoste de vehículos (M€)	5: Payback simple (años)	6: Inversión en infraestructuras (M€)	7: Reducción GEI (ktCO <sub>2</sub> eq/año)			8: Reducción NO <sub>x</sub> (t/año)		9: Reducción partículas (t/año)	
						TTW	STW	WTW	TTW	STW	TTW	STW
Bajo Bidasoa	CONV por BEV	9	75	8	10	29	23	24	12	-0,3	1	0,4
	CONV por PHEV	6	109	17	3	18	18	19	8	6	1	0,5
	CONV por GNC	8	37	5	0	10	12	11	3	4	1	1
	CONV por GLP	6	10	2	0,04	8	10	10	3	5	1	0,003
	CONV por HYB	5	42	8	0	14	15	16	7	8	0	0,5
Bajo Deba	CONV por BEV	22	183	8	24	70	57	59	28	-1	1	1
	CONV por PHEV	16	266	17	6	44	43	46	21	11	1	1
	CONV por GNC	18	91	5	0	25	29	26	8	11	2	1
	CONV por GLP	14	25	2	0,1	20	24	25	8	13	2	0,01
	CONV por HYB	13	103	8	0	34	37	39	18	21	1	1
Goierri	CONV por BEV	16	130	8	17	50	40	42	20	-1	1	-1
	CONV por PHEV	11	188	17	4	31	31	33	15	11	1	13
	CONV por GNC	13	64	5	1	18	21	19	6	8	1	1
	CONV por GLP	10	18	2	0,1	14	17	18	6	9	1	0,01
	CONV por HYB	9	73	8	0	24	26	28	13	15	1	1
Bilbao - Plentzia-Mungia	CONV por BEV	18	150	8	n.a.	57	46	48	23	-1	2	1
	CONV por PHEV	13	218	17	n.a.	36	35	38	17	13	1	1
	CONV por GNC	15	74	5	n.a.	21	24	22	7	9	1	1
	CONV por GLP	11	21	2	0,1	16	20	21	7	10	1	0,01
	CONV por HYB	11	84	8	0	28	31	32	15	17	1	1

Fuente: elaboración propia.  Relevante a nivel local/zonal  Relevante a nivel del sistema energético peninsular

**TABLA 55. Resumen de resultados para sustituciones en parque de vehículos convencional por energías alternativas (4 de 4)**

1: Casos	2: VEA	3: Ahorro en combustible (M€/año)	4: Sobrecoste de vehículos (M€)	5: Payback simple (años)	6: Inversión en infraestructuras (M€)	7: Reducción GEI (ktCO <sub>2</sub> eq/año)			8: Reducción NO <sub>x</sub> (t/año)		9: Reducción partículas (t/año)	
						TTW	STW	WTW	TTW	STW	TTW	STW
Bilbao - San Sebastián	CONV por BEV	22	179	8	n.a.	68	55	57	28	-1	2	-1
	CONV por PHEV	15	259	17	n.a.	43	42	45	20	15	1	15
	CONV por GNC	18	88	5	n.a.	25	28	26	8	11	2	1
	CONV por GLP	13	25	2	0,1	19	24	25	8	12	2	0,01
	CONV por HYB	13	100	8	0	33	36	38	17	20	1	1
Vitoria-Gasteiz	CONV por BEV	53	428	8	57	164	132	138	66	-2	5	2
	CONV por PHEV	37	621	17	14	104	101	107	48	36	3	3
	CONV por GNC	43	212	5	1	59	68	62	20	26	4	3
	CONV por GLP	32	59	2	0,2	46	57	59	20	30	4	0,02
	CONV por HYB	30	240	8	0	80	87	92	42	48	3	3
Bilbao - Vitoria	CONV por BEV	18	148	8	n.a.	57	46	48	23	-1	2	1
	CONV por PHEV	13	215	17	n.a.	36	35	37	17	12	1	1
	CONV por GNC	15	73	5	n.a.	20	24	21	7	9	1	1
	CONV por GLP	11	20	2	0,1	16	20	21	7	10	1	0,01
	CONV por HYB	10	83	8	0	28	30	32	14	17	1	1

Fuente: elaboración propia. ■ Relevante a nivel local/zonal ■ Relevante a nivel del sistema energético peninsular

Nota: (\*) Las emisiones STW del sistema eléctrico (BEV y parte del PHEV) se corresponden con el *mix* actual (promedio del período 2013-2015). Resultan valores negativos. Hay que tener en cuenta que por un lado, las emisiones de NO<sub>x</sub> en la sustitución deben considerar las locales (TTW). En cualquier caso para el 2020+ ver capítulo 4 y anexo 5. Los resultados totales serían: reducción BEV STW de 595 t NO<sub>x</sub> y 48 t PM; reducción PHEV STW de 560 t NO<sub>x</sub> y 35 t PM.

### 5.2.1. Resultados. Un ejercicio para evaluar alternativas con base multicriterio

En este subapartado se examinan las diferentes alternativas en base a varios criterios: el ahorro de combustibles, el coste específico del CO<sub>2</sub> por un lado, el coste específico con el coste externo de los contaminantes por otro lado, y la contribución a los objetivos de cambio climático de la CAPV. A continuación se detalla cada uno de ellos.

#### *Ahorro en coste de combustibles*

En base a los ahorros anuales de coste de combustibles, se puede establecer un primer orden, buscando qué sustitución permite la mayor capacidad de ahorro

**TABLA 56. Comparación de escenarios en función del ahorro de combustible (orden 1 = mejor opción, mayor ahorro)**

	Ahorro en combustible (M€/año)	Orden
CONV por BEV	588	1
CONV por PHEV	413	3
CONV por GNC	482	2
CONV por GLP	357	4
CONV por Hyb	338	5

Fuente: elaboración propia.

Nota: Puede verse que las posiciones favorables son para los eléctricos de batería y para el gas natural comprimido.

#### *Coste específico del CO<sub>2</sub>*

Una vez se conocen las emisiones de CO<sub>2</sub> reducidas con todo el parque sustituido, así como los sobrecostes y las inversiones totales a realizar (vehículos e infraestructuras), se puede evaluar cuál habría de ser el coste específico de las emisiones, hallando la relación como cociente entre los desembolsos a realizar y la reducción de emisiones alcanzada.

Dado que se trata de las sustituciones totales, el punto de partida es que, habiéndose realizado los sobrecostes e inversiones, en el primer año ya está teniendo lugar anualmente una reducción de emisiones respecto a la situación anterior con vehículos convencionales. Esta tasa de reducción se mantendrá, por tanto, constante año a año ya que teóricamente la sustitución del parque ya se ha realizado.

Un horizonte temporal a considerar podría ser el año 2100, debido a la importancia de este año en relación con la reducción del aumento de la temperatura con el fin de evitar el calentamiento global, según el IPCC (IPCC, 2017) y la Agencia Internacional de Energía (AIE, 2017). Las fórmulas seguidas aquí para los cálculos del coste específico del CO<sub>2</sub> son las siguientes, incluyéndose en la tabla que sigue los correspondientes resultados, considerando los datos económicos de los supuestos

de este capítulo y del capítulo 4, en el horizonte 2017-2100<sup>161</sup> y que el coste de renovación de los vehículos y mantenimiento de la infraestructura son idénticos a los actuales.

**Supuesto 1:**

$$\text{Coste específico CO}_2 = \frac{\text{Inversión infraestructuras (M€)}}{\text{Reducción acumulada de CO}_2 \text{ (Mt)}}$$

**Supuesto 2:**

$$\text{Coste específico CO}_2 = \frac{\text{Sobrecoste vehículos (M€)}}{\text{Reducción acumulada de CO}_2 \text{ (Mt)}}$$

**Supuesto 3:**

$$\text{Coste específico CO}_2 = \frac{\text{Inversión infraestructuras (M€)} + \text{Sobrecoste en vehículos (M€)}}{\text{Reducción acumulada de CO}_2 \text{ (Mt)}}$$

**Supuesto 4:**

$$\text{Coste específico CO}_2 = \frac{\text{Inversión infraestructuras (M€)} + \text{Sobrecoste en vehículos (M€)} - \text{Combustible ahorrado en 83 años (M€)}}{\text{Reducción acumulada de CO}_2 \text{ (Mt)}}$$

**TABLA 57. Comparación de escenarios en función del coste específico del CO<sub>2</sub> (orden 1 = mejor opción, reducción más económica) en el periodo 2017-2100**

		Orden (según supuesto 3)	Supuesto 1 (€/t CO <sub>2</sub> )	Supuesto 2 (€/tCO <sub>2</sub> )	Supuesto 3 (€/tCO <sub>2</sub> )	Supuesto 4 (€/tCO <sub>2</sub> )
TTW	CONV por GLP	1	0,06	16	16	-681
	CONV por BEV	2	3,8	31	35	-285
	CONV por Hyb	3	0,0	36	36	-344
	CONV por GNC	4	0,1	43	43	-686
	CONV por PHEV	5	1,5	72	74	-283
STW	CONV por GLP	4	0,05	12	13	-548
	CONV por Hyb	5	0,0	33	33	-313
	CONV por GNC	3	0,1	37	38	-593
	CONV por BEV	1	4,6	39	44	-353
	CONV por PHEV	2	1,5	74	75	-289
WTW	CONV por GLP	1	0,05	12	12	-524
	CONV por Hyb	2	0,0	31	31	-296
	CONV por GNC	3	0,1	42	42	-658
	CONV por BEV	4	4,5	37	42	-340
	CONV por PHEV	5	1,4	70	71	-273

Fuente: elaboración propia.

Nota: Los valores negativos representarían en su caso ganancias, y por tanto se trata de valores virtuales y descartables, pero orientativos para conocer el peso del ahorro de combustibles si este se considera.

<sup>161</sup> No se está considerando una vida útil del vehículo de 87 años, sino que se está evaluando el coste específico de la capacidad de reducción del nuevo parque alcanzado, ya que se entiende tras la sustitución, no se regresará a las tasas de emisiones anteriores, más elevadas.

Si se considera los costes específicos de reducción de CO<sub>2</sub> (calculados como relación de inversiones realizadas más sobre coste de vehículos por reducción de GEI, supuesto 3), el más favorable es el de los eléctricos, enchufables y de gas natural comprimido; en el TTW, los híbridos y el de GLP en el STW y los eléctricos en el WTW.

En este punto hay que llamar la atención de que el ranking u orden de prelación varían según se consideren las emisiones del TTW, STW o WTW. A este respecto, se ha de tener en cuenta que, dado que los compromisos de reducción adoptados en la cumbre de París son por país, para la UE, se debería considerar el caso STW para el CO<sub>2</sub> al ser el que proporciona el nivel de reducción interior. Las inversiones en infraestructuras y el sobre coste en vehículos contribuyen a la disminución, tanto de emisiones de CO<sub>2</sub>, como de NO<sub>x</sub> y partículas, es decir, emisiones de gases de efecto invernadero y emisiones contaminantes. Por tanto, debería examinarse la prelación bajo el supuesto de precios de reducción del CO<sub>2</sub>, del NO<sub>x</sub> y de las partículas, lo que se examina a continuación.

### **Costes externos de emisiones**

Se sigue aquí el criterio de encontrar qué escenario permite la mayor reducción de los costes externos de las emisiones (STW). En primer lugar, se asigna un precio indicativo al CO<sub>2</sub>, de 10 €/t<sup>162</sup>, (basado en los precios internacionales de los derechos de emisión)

Se consideran precios dados de NO<sub>x</sub> y partículas, siguiendo los valores de 4.964 €/t de NO<sub>x</sub>, que es según el estudio para la Comisión Europea *Update of the Handbook on External Costs of Transport* (Ricardo-AEA, 2014), el coste externo asociado al NO<sub>x</sub><sup>163</sup>. El de las partículas según el mismo informe es de 48.012 €/t<sup>164</sup>.

Teniendo en cuenta los precios, se evalúa que las sustituciones ahorrarían más costes externos, lo que se puede ver en la tabla siguiente.

---

<sup>162</sup> Una aclaración que es necesario hacer es que el coste específico del CO<sub>2</sub> antes calculado representa el coste para la sociedad de la reducción de una tonelada de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, este precio que aquí se indica supone el coste de una tonelada de CO<sub>2</sub> en el mercado por la necesidad de establecer límites de emisión. Por tanto, son conceptos distintos.

<sup>163</sup> Estimación basada en la cuantificación del impacto que las emisiones tienen en la salud, el medio ambiente y en la economía, siguiendo la metodología IPA (*Impact Pathway Approach*): emisión, dispersión, exposición, impacto. El impacto se determina mediante las funciones exposición/respuesta que relacionan los daños a la salud y al medio ambiente en relación con los cambios en la concentración de los contaminantes. En el caso del NO<sub>x</sub>, estas funciones se han determinado mediante estudios epidemiológicos. La valoración monetaria de los daños se realiza en base a estudios que analizan la disposición a pagar (*willingness to pay*) por la reducción del riesgo; por ejemplo, para la salud

<sup>164</sup> Si bien este es un término intermedio para una conducción interurbana.

**TABLA 58. Comparación de escenarios en función de la reducción de costes medioambientales para precios dados en la UE para España (orden 1 = mejor opción, mayor reducción)**

	Reducción de costes de GEI (M€)	Reducción de costes de NO <sub>x</sub> (M€) <sup>165</sup>	Reducción de costes de PM (M€)	Suma	Orden
CONV por BEV	15	-0,1	1	16	1
CONV por PHEV	11	2	1	15	2
CONV por GNC	8	1	2	11	4
CONV por GLP	6	2	0	8	5
CONV por Hyb	10	3	1	14	3

Fuente: elaboración propia.

En el Reino Unido (RU) el Departamento de Medioambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA) ha calculado o estimado costes externos de los contaminantes superiores a los anteriores. En este caso los precios que se les asignarían serían de 28.797 €/t para el NO<sub>x</sub> y de 66.285 €/t para las partículas (DEFRA, 2015). Manteniendo el mismo precio orientativo del CO<sub>2</sub> de 10 €/t, los resultados son los siguientes.

**TABLA 59. Comparación de escenarios en función de la reducción de costes medioambientales para precios dados en RU (orden 1 = mejor opción, mayor reducción)**

	Reducción de costes de GEI (M€)	Reducción de costes de NO <sub>x</sub> (M€)	Reducción de costes de PM (M€)	Suma	Orden
CONV por BEV	15	-1	2	16	5
CONV por PHEV	11	12	2	25	2
CONV por GNC	8	8	3	19	3
CONV por GLP	6	10	0	16	4
CONV por Hyb	10	16	2	27	1

Fuente: elaboración propia.

Existen diferencias de órdenes resultantes entre los datos para precios de la UE y del RU, lo que implica que un mayor coste de los contaminantes puede dar lugar a que éstos ganen peso frente al CO<sub>2</sub>. Para homogeneizar el orden se lleva a cabo el ejercicio de calcular el promedio entre ambos y se asigna un nuevo orden final, aun siendo conscientes de la simplicidad del enfoque.

<sup>165</sup> Se ha supuesto que el coste del NO<sub>x</sub> es independiente de dónde se produce y que España cumple el techo de emisión de NO<sub>x</sub> fijado en la directiva 2001/81/EC de techos nacionales de emisión

**TABLA 60. Comparación de escenarios en función de la reducción de costes medioambientales para precios dados en UE y RU (criterio 1 = mejor opción, mayor reducción)**

	Orden según UE	Orden según RU	Promedio	Orden "promedio"
CONV por BEV	1	5	3	3
CONV por PHEV	2	2	2	1
CONV por GNC	4	3	4	4
CONV por GLP	5	4	5	5
CONV por Hyb	3	1	2	1

Fuente: elaboración propia.

Nota: Según precios de la UE y el RU (ver texto). Puede apreciarse que, en general, los eléctricos (BEV y PHEV) y los híbridos se sitúan en las zonas altas de la prelación.

### ***Contribución a los objetivos de cambio climático de la CAPV***

El coste específico por sí sólo no muestra qué alternativa tiene un mejor resultado. Esto es debido a que este indica qué opción es más económica a la hora de reducir emisiones de GEI, pero en base a los costes sin tener en cuenta las capacidades de reducción individuales de cada alternativa en relación con un objetivo cuantitativo global. Es decir, una opción más económica no asegura que esta sea la más eficaz para lograr un objetivo de reducción, sino la más eficiente en coste; por ello, podría indicar un orden de preferencia en la implantación de alternativas para alcanzar un objetivo fijado de reducción.

A este respecto conviene tener en cuenta que los objetivos dependientes de la estrategia europea para el transporte y, en particular, para la introducción de los combustibles alternativos tiene un carácter legal para el conjunto de la UE y, por tanto, ha de traducirse igualmente en obligaciones legislativas en cada Estado Miembro. Los objetivos fijados en la directiva de combustibles alternativos son: a) reducción de la dependencia del petróleo, b) alcanzar una reducción de emisiones de GEI del 60% en 2050 respecto a 1990 y c) alcanzar un 10 % de contribución de las energías renovables en el transporte.

Por tanto, el coste específico se puede complementar con otros indicadores que indiquen el nivel contribución a los objetivos anteriores fijados por la UE y que, por supuesto son de aplicación a todos los países, de manera que, en conjunto, se pueda tener una comparativa económico-ambiental más completa.

Por otro lado, los indicadores deben también atender a los objetivos climáticos del Gobierno Vasco. En el capítulo 3, uno de los documentos de relevancia que se consideran es la Estrategia Vasca de Cambio Climático 2050 (o Klima 2050). Según esta, el Gobierno Vasco pretende reducir en 2030 las emisiones globales de GEI en un 40% respecto a los niveles de 2005, y un 80% en 2050.

Si estos porcentajes se aplican a las emisiones que se produjeron en el sector transporte (5,5 millones de toneladas en 2005), en 2030 el transporte debería emitir 2,2 Mt menos, y 4,4 Mt menos en 2050.

En la siguiente tabla se evalúa en qué porcentaje cumplen los parques monoenergéticos estos objetivos de emisiones, disponiéndose de esta manera de un indicador ambiental (pero no económico) de qué alternativa sería la mejor.

Para ello se han estimado las reducciones de emisiones de todos los turismos de la CAPV lo que implicaría para pasar de un 72% a un 100% de desplazamientos. En este caso se han tomado las emisiones TTW, coherentemente con la estrategia de Cambio Climático del Gobierno Vasco.

**TABLA 61. Comparación de escenarios en función de la contribución a los objetivos climáticos de la CAPV (orden 1 = mejor opción, mayor reducción)**

	Orden	Reducción TTW (kt) del 72%	Reducción TTW estimada del 100% (Mt)	Contribución al objetivo 2030	Contribución al objetivo 2050
CONV por BEV	1	1.837	2,6	116%	58%
CONV por PHEV	2	1.161	1,6	73%	37%
CONV por GNC	4	661	0,9	42%	21%
CONV por GLP	5	512	0,7	32%	16%
CONV por Hyb	3	890	1,2	56%	28%

Fuente: elaboración propia.

### ***Prelación en base a varios criterios***

Los criterios vistos hasta ahora pueden valorarse en mayor o menor medida, según sea la estrategia o los objetivos a lograr. Es decir, puede haber políticas que primen más las cuestiones económicas, o las ambientales. Se han evaluado diferentes casos a continuación, en los que se dan diferentes pesos a los criterios para evaluar qué alternativas serían mejores en uno u otro caso.

El primer caso (A) es un escenario donde se prima el ahorro de costes de combustibles. El segundo (B), está centrado en la lucha contra el cambio climático. El tercero (C) busca sobre todo una reducción de los costes externos y ambientales debido a las emisiones y el último (D) se centra en los costes y ahorros de la reducción de emisiones. Por su parte, en el escenario final (E) se asigna el mismo peso a cada criterio.

**TABLA 62. Pesos para ponderar los criterios de valoración de las alternativas**

	Ahorro de costes combustible	Coste específico de CO <sub>2</sub>	Ahorro de costes medioambientales	Contribución a los objetivos de reducción de GEI
A	60%	20%	20%	0%
B	0%	20%	20%	60%
C	0%	30%	60%	10%
D	0%	60%	40%	0%
E	25%	25%	25%	25%

Fuente: elaboración propia.



Siguiendo los pesos dados a cada criterio según la tabla anterior, la posición de cada alternativa en dichos escenarios sería la siguiente.

**TABLA 63. Orden de las alternativas según criterios y escenarios**

	Ahorro de combustible	Coste específico CO <sub>2</sub>	Reducción de costes medioambientales	Contribución a objetivos de reducción de GEI	Ponderación				
					A	B	C	D	E
CONV por BEV	1	4	3	1	2	2	3	4	2
CONV por PHEV	3	5	1	2	3	2	2	3	3
CONV por GNC	2	3	4	4	3	4	4	3	3
CONV por GLP	4	1	5	5	4	4	4	3	4
CONV por Hyb	5	2	1	3	4	2	2	2	3

Fuente: elaboración propia.

Ha de recordarse que los PHEV son, debido a su sistema híbrido de recarga de la batería, vehículos mayores que los eléctricos puros o de batería y su mercado está orientado hacia gamas altas. Este es a día de hoy un segmento menos accesible al grueso de la población y por tanto su aplicación estaría más limitada. De esta manera, si el PHEV se descartase como alternativa con gran potencial, el BEV se posicionaría como la mejor.

En base a estas consideraciones, no siendo el BEV aún competitivo (ni en coste ni en servicio) sin incentivos de peso, los vehículos eléctricos tendrán que complementarse durante varios años con los vehículos de combustión interna (Cooper, 2016). Esto deja espacio al empleo del GNC y de los GLP, aunque no se trate de vehículos diferentes a los convencionales. Los vehículos bifuel copan la mayoría de su mercado. Por tanto, en sentido estricto, el mayor uso de ambos no implica una sustitución de parque actual en cuanto a capacidad de utilizar combustibles del petróleo. Esto es lo que se lleva a cabo en el apartado de sustituciones progresivas, tras los análisis de sensibilidad que sigue.

### 5.2.2. Análisis básicos de sensibilidad y de sustitución parcial de vehículos privados.

Todo el análisis realizado hasta este momento descansa en supuestos económicos. Cabe preguntarse si los resultados y las conclusiones siguen siendo válidas en el caso de que los precios de las energías, de los vehículos y de las inversiones en puntos de recarga o suministro, variasen sustancialmente.

A este respecto es importante señalar que las energías y, por tanto, sus precios de mercado no son completamente independientes unas de otras. La referencia de precio está marcada por el petróleo, que es la fuente de energía de mayor consumo a nivel mundial y que continuará siéndolo en las próximas décadas. Todas las energías alternativas tienen sus propios mercados, internacionales en el caso de los

GLP y el gas natural, y más locales en el caso de la electricidad<sup>166</sup>. En el caso de los GLP, producto del petróleo, sus precios están asociados al precio del petróleo, En el del gas natural, salvo en Estados Unidos, en dónde existe una gran producción de gas no convencional (o de gas no convencional), los precios están, en gran parte, referenciados a los del petróleo<sup>167</sup>.

La electricidad se produce a partir de derivados del petróleo y de gas natural, ambos con precios relacionados, de carbón, menos dependiente del petróleo o de fuentes renovables, generalmente no sujetas a las oscilaciones del precio de este; por tanto, la electricidad, dependiendo del *mix* de generación, tiene el sistema de fijación de precios menos dependiente del petróleo de todos los combustibles alternativos.

Además del precio en los mercados mayoristas, un segundo aspecto a tener en cuenta en la formación del precio al consumidor final, son los costes de transporte y distribución, los impuestos especiales y, finalmente el IVA. Los impuestos especiales, cuyo valor mínimo a aplicar depende la UE (Directiva 2003/96/CE) dependen de decisiones políticas nacionales y locales.

En el caso de los combustibles convencionales representan actualmente más del 50% del precio final al consumidor (situación que amortigua las oscilaciones de precio en los mercados mayoristas), mientras que los combustibles alternativos disfrutan de impuestos reducidos con objeto de promover el desarrollo de la infraestructura de suministro e impulsar su uso.

Un tercer elemento a considerar en la evolución de los precios es la intercambiabilidad de los combustibles. En efecto, dado que la mayoría de los vehículos de GNC y de GLP del mercado son bifuel: gasolina/GLP o gasolina/GNC, el usuario puede decidir el combustible que utiliza según los precios y/o la disponibilidad. No sucede así en el caso del vehículo eléctrico, salvo para los híbridos enchufables utilizados en distancias cortas.

De lo descrito anteriormente se puede deducir que a) el precio al consumidor tanto del gas natural como de los GLP evolucionará de forma similar al del petróleo y b) la situación de impuesto especial reducido puede revisarse durante el procedimiento de modificación de la directiva 2003/96/CE de imposición sobre la energía.

Por ello es previsible que el diferencial de precios entre el GNC y los GLP y los combustibles convencionales tienda a estrecharse a medida que su consumo aumente.

A continuación, y de forma sucinta, se examina la sensibilidad del ahorro en combustibles a la variación de los precios de los mismos, por considerar que la evolución histórica de los precios de gasolinas y gasóleos ha variado sustancialmente, como puede verse en el gráfico 34 del capítulo 4. De hecho, el valor

---

<sup>166</sup> Últimamente en la UE mediante el impulso a interconexión de redes eléctricas por el proyecto TEN-E se están desarrollando mercados europeos.

<sup>167</sup> Para más información ver Álvarez Pelegry, E. (2015).

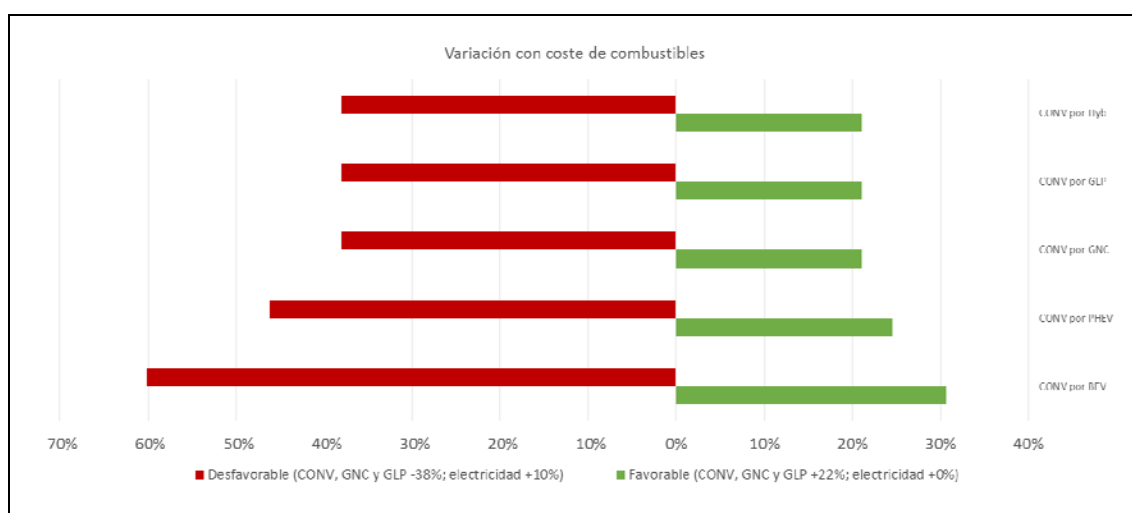
utilizado para el gasóleo es de 1,13 €/l. Tiene en el periodo representado en dicho gráfico (2000-2015), variaciones de hasta un 38%, inferiores al elegido como supuesto superior, y un 21% superiores. Estos casos lógicamente permitirían que la penetración de energías alternativas fuese menos o más favorable respectivamente. Puede, adicionalmente, combinarse estas variaciones con las de precios del GNC, los GLP y la electricidad.

El escenario “Favorable” para los VEA sería que se considerara unos precios del gasóleo un 21% superiores a los 1,13 €/l del supuesto base, y un caso “Desfavorable” para la penetración de los VEA en el caso de que el precio del gasóleo sea un 38% inferior al considerado. Esto implica que, como se explicó en el capítulo 4, los precios del gas natural (indexados a los del petróleo) y los de los GLP (producto derivado del petróleo, producido en refinería en el caso de España) se supone que variarían paralelamente a los gasóleo y la gasolina en ese mismo porcentaje. En este escenario no se espera un descenso del precio de la electricidad.

En el escenario “Desfavorable”, el precio de los combustibles convencionales desciende un 38%, implicando de nuevo un movimiento, en este caso descendente, de los precios del gas natural y de los GLP en la misma proporción. Además, se podría producir un aumento del precio de la electricidad, consecuencia del aumento de demanda y del descenso de consumo de productos petrolíferos, por lo que se ha supuesto un incremento del 10% como porcentaje orientativo.

Los resultados se representan en el gráfico y la tabla siguientes. Puede verse que las variaciones de precios afectan porcentualmente más a los eléctricos, el PHEV y, fundamentalmente, al eléctrico de batería con disminuciones en ahorro del 60%, ante cambios de precio de los convencionales del 38%.

**GRÁFICO 42. Análisis de sensibilidad para el ahorro económico de combustible (%)**



Fuente: elaboración propia.

**TABLA 64. Variación del orden de prelación según el ahorro económico de combustible**

	Ahorro combustible Base	Orden	Favorable	Variación	Orden	Desfavorable	Variación	Orden
CONV por BEV	588	1	769	31%	1	235	-60%	2
CONV por PHEV	413	3	515	25%	3	223	-46%	3
CONV por GNC	482	2	583	21%	2	299	-38%	1
CONV por GLP	357	4	431	21%	4	221	-38%	4
CONV por Hyb	338	5	409	21%	5	210	-38%	5

Fuente: elaboración propia.

Si por otro lado se atiende a la variación del coste de los vehículos, modificándose de esta manera el sobrecoste de los mismos, esto afectaría al coste específico del CO<sub>2</sub><sup>168</sup>. En este caso se ha optado por modificar el coste de los vehículos eléctricos (VE), en base a la previsible caída del precio de las baterías con el desarrollo de la tecnología<sup>169</sup>. Un menor precio de la batería afectará sobre todo al coste específico del CO<sub>2</sub> del BEV (hasta un 33% menor), frente al del PHEV (hasta un 4% menor), al ser tener la modalidad eléctrica un mayor peso en el BEV.

Otra posibilidad es atender a una caída indicativa del 10% para todo el precio del vehículo, en base a la cuestión de las baterías en combinación con posibles ayudas a la compra y el desarrollo del mercado). En este caso el coste específico bajaría hasta un 17% en el caso del BEV y hasta un 16% en el del PHEV.

Cabe mencionar que el desarrollo del mercado y las ayudas a la compra pueden orientar a la baja el precio de otros VEA. Esto sería especialmente notable en el caso del vehículo de GLP, que al ser el más cercano en precio a los convencionales terminaría por igualarlos en coste específico de CO<sub>2</sub>, en especial si adicionalmente hubiese una subida del precio de estos últimos.

Por otra parte, y teniendo en cuenta que las capitales vascas, especialmente Bilbao y San Sebastián, y algún otro municipio como Irún, están trabajando en la introducción de combustibles alternativos en el transporte en autobús urbano, se ha examinado la sensibilidad del traslado de transporte de pasajeros del vehículo particular al autobús<sup>170</sup>.

En base a las medias de emisión de CO<sub>2</sub> del transporte en España, el traslado del 20% de los viajeros que utilizan el coche hacia el autobús supondría una reducción

<sup>168</sup> Para detalle ver capítulo 5.

<sup>169</sup> En el capítulo 4 se asume una caída de hasta el 57 % del precio de la batería en 2025, siendo ésta un 35% del precio del BEV.

<sup>170</sup> El servicio público de transportes más importante de la CAPV, Bizkaibus, cubre 2.500 kilómetros, con 340 autobuses y 106 líneas, empresa con un déficit de 80 millones de euros (Errazti, 2016).

media de 0,1 kg/pas-km<sup>171</sup>. Además, respecto al número de pasajeros, un autobús estándar con ocupación de los autobuses urbanos en España<sup>172</sup> y la media del vehículo privado <sup>173</sup> (15)<sup>174</sup> equivale a 12,5 coches con una ocupación de 4 plazas (Barbadillo et al., 2014).

Por tanto, si se sustituye parcialmente el transporte de turismos en un 20% y un 10% de los traslados de pasajeros del automóvil al autobús, las cifras de orden resultantes serían las de la tabla siguiente<sup>175</sup>.

**TABLA 65. Resultados de traslado de pasajeros al autobús en el total de casos seleccionados (TTW)**

Traslado al autobús	Ahorro económico de combustible (M€/año)	Reducción de CO <sub>2</sub> (kt/año)	Reducción de NO <sub>x</sub> (t/año)	Reducción de PM (t/año)
20%	157	329	112	10
10%	79	164	56	5

Fuente: elaboración propia.

Es importante considerar la opción de la hibridación de estos autobuses a la hora de introducir nuevos porcentajes de movilidad pública, ya que supone una tendencia al alza y sus beneficios rondan ahorros del 25-30% de combustible y emisiones.

Otra opción sería la introducción del autobús eléctrico. Sin embargo, el elevado coste de estas unidades, en el entorno de los 650.000 € por unidad (los autobuses típicos tienen precios alrededor de 250.000-350.000€), suponen un freno al desarrollo de una flota a gran escala. Con todo, ya se empieza a introducir algunas unidades en ciudades como Bilbao.

<sup>171</sup> La composición de la flota de autobuses influye en la capacidad de reducción de emisiones al utilizar la misma. En Bilbao, por ejemplo, el servicio público Bilbobus dispone de 12 autobuses que cumplen la norma Euro VI, pero 21 cumplen con la Euro V; 20, la Euro IV y 95, la Euro III (Reviriego, 2017).

<sup>172</sup> Se utiliza la equivalencia a nivel de España al no haberse hallado una fuente en este sentido para la CAPV.

<sup>173</sup> Según la misma fuente, la ocupación media de un autobús interurbano en 2013 fue de 23,04 pasajeros.

<sup>174</sup> Ministerio de Fomento: Transporte Urbano de Viajeros.

<sup>175</sup> Se ha considerado un consumo medio de 0,26 l/km de gasóleo (IDAE, 2006) y emisiones de 775 gCO<sub>2</sub>/km (Generalitat de Catalunya, 2011), 0,72 gNO<sub>x</sub>/km y 0,018 gPM/km (Cooper et al., 2012).

**FIGURA 22. Autobús eléctrico circulando por la Gran Vía de Bilbao**

Fuente: archivo de los autores.

Nota: Fotografía tomada en marzo de 2017.

Respecto al gas natural, hay ventajas en el precio del combustible, pero su gran inconveniente radica en las infraestructuras dedicadas, que implican inversiones relevantes. En el caso de las unidades con GLP, son poco comunes y no suelen ser adquiridas.

### 5.2.3. A modo de conclusiones

Con el enfoque de sustituciones por parques “monoenergéticos”, los resultados muestran con los criterios de comparación de los diferentes tipos de vehículos, que en términos de eficiencia económica ambiental de GEI, son los de GLP y los híbridos convencionales los más eficaces. En ahorro de combustibles e indirectamente en la reducción de importaciones de petróleo, son los eléctricos de batería (BEV) y los de gas natural los que resultan más interesantes.

En lo que a contribución a los objetivos de reducción de GEI se refiere, son los eléctricos (BEV y PHEV) los que tienen clara prelación. En reducción de costes medioambientales (GEI, NO<sub>x</sub> y partículas), los híbridos enchufables y los híbridos convencionales resultan los más interesantes.

Si se consideran de manera conjunta todos los criterios y se les otorga distintas ponderaciones, el panorama general es la prelación de los eléctricos e híbridos, quedando en posiciones intermedias o finales los de gas natural y los de GLP (este último hay que recordar, es el primero en términos de eficiencia económico-medioambiental).

Por lo anterior, bajo el punto de vista de los criterios económicos y medioambientales, debería darse más prioridad a la incentivación del eléctrico. En lo que se refiere al GNC debe indicarse que por las razones apuntadas en los capítulos 4 y 5, no se visualiza una fuerte penetración en turismo, pero sí en los segmentos de furgonetas y de transporte más pesado, así como en el gas natural licuado (GNL) que no es objeto de análisis en este estudio.

En términos globales, para convertir el 100% de los turismos convencionales (gasóleo y gasolina) de los casos seleccionados en la CAPV, el sobre coste en vehículos eléctricos sería del orden de 4.800 millones de euros y sería necesario invertir un cifra no lejana a los 400 millones de euros en infraestructuras de recarga. Ahora bien, con los supuestos de precios del estudio se ahorrarían cerca de 700 millones de euros anualmente en combustible, lo que significa que la recuperación del sobre coste de vehículos con el ahorro de combustible se produciría en unos siete años.

El sobre coste de vehículos e inversión en infraestructuras son sustancialmente menores y diferentes cuando las sustituciones son por GLP y gas natural, si bien las reducciones por emisiones son también sustancialmente inferiores. Por este motivo se ha identificado el criterio de eficiencia económico-ambiental para estimar el coste-beneficio de estas sustituciones.

Estas cifras deben verse en el contexto de los resultados que logran, dado que con las mismas se conseguiría unas reducciones entre 1,5 y 1,8 millones de toneladas  $CO_{2eq}$ /año, debiendo tenerse en cuenta que esa reducción se tiene ya a perpetuidad, por tanto se solventaría así el problema de emisiones de gases de efecto invernadero en cantidades muy importantes, al igual que sucede con las emisiones de  $NO_x$ : 750 t/año (TTW), o de partículas: 76 t/año (TTW), ambas a perpetuidad.

Dicho lo anterior, estas cifras de carácter macro deben llevar a pensar que las sustituciones serán progresivas y, por ello, tanto en sobre costes de vehículos como en ahorro de combustible y reducción de emisiones, presentarán cifras anuales menores como se verá en el apartado siguiente.

En el apartado relativo a la sensibilidad, se ha analizado también el impacto que tendría el hecho de que un 20% de los pasajeros del total de casos seleccionados, en lugar de emplear el vehículo propio pasaran a emplear el transporte público, en particular el autobús. Como resultado, se obtendrían unos ahorros en combustible anuales de 157 millones de euros. Además, se reducirían las emisiones de  $CO_2$  en 329.000 toneladas, las de  $NO_x$  en 112 toneladas y las de partículas en 10 toneladas.

### **5.3. Sustituciones progresivas**

Tal como se ha señalado al comienzo de este capítulo, en este apartado se van a considerar diferentes escenarios de penetración entre los años 2015 y 2035. Para la definición de los mismos se han considerado los criterios básicos que se recogen a continuación, relativos al parque de turismos, vehículos eléctricos, de gas natural comprimido, de gases licuados del petróleo e híbridos convencionales.

Tras esas consideraciones, se han identificado tres supuestos para el vehículo eléctrico, dos para el GNC, uno para los GLP y uno para el híbrido. Como consecuencia de todo ello, han resultado siete escenarios sobre los que se han evaluado los resultados económicos y ambientales de los mismos. En este apartado

se recogen las conclusiones relativas al conjunto de escenarios y se explican aquí tres de ellos. Los resultados correspondientes al resto se facilitan en el anexo 8.

En cualquier caso, ha de tenerse en cuenta que es necesario situar los escenarios en el contexto de la incertidumbre del sector al largo plazo, entre otras causas por las variaciones en los conceptos de movilidad (Álvarez et al, 2017), y los importantes cambios de comportamiento consecuencia de los cambios tecnológicos y socioeconómicos<sup>176</sup> de los últimos años y los que se producirán en el futuro.

Asimismo, debe tenerse en cuenta, por una parte, las implicaciones que pueden tener los vehículos autónomos y, por otra parte, la conectividad de los vehículos, que supondrán también cambios importantes.

### 5.3.1. Bases de partida y crecimiento del parque de turismos

Es importante señalar que a lo largo de todo el periodo se han tomado como base las hipótesis siguientes: El parque de turismos, se supone que se mantendrá constante en 22.029.512 unidades en España (DGT, 2014) y 946.694 para la CAPV (Gobierno Vasco, 2015), un 4,3% los de España; la matriculación anual de turismos se mantendrá igualmente constante e igual a un millón de turismos para España, y 43.000 turismos anuales para la CAPV, siguiendo la proporción anterior<sup>177</sup>.

Al mismo tiempo se tiene en cuenta que el Gobierno de España pretende alcanzar en 2020 el objetivo de 250.000 vehículos de los GLP, de los que 222.500 serían turismos (si se mantiene la proporción actual entre turismos y parque total en cada energía); 150.000 BEV, de los que 55.500 serían turismos eléctricos; y 17.200 de GNC, de los que serían 3.096 turismos aproximadamente (Gobierno de España, 2016).

#### 5.3.1.1. Bases de partida

##### ***Biocombustibles***

En todos los escenarios se considera que se cumplen los objetivos de biocombustibles de acuerdo con la Directiva 2009/28/CE y el Real Decreto 1085/2015. Dichos porcentajes son los siguientes<sup>178</sup>.

<sup>176</sup> Se puede reseñar aquí la predicción realizada por Ford en la 50ª edición de la *Consumer Electronic Show* de Las Vegas, según la cual en el futuro la tendencia dominante será la de disponer de vehículo por su uso o utilización, sin tener la propiedad del mismo (Jiménez y Guillén, 2017).

<sup>177</sup> Conviene apuntar aquí que los servicios de *renting* suponen el 33% de los vehículos en flotas de empresa (Álvarez, 2016), lo que representa un 15% de las matriculaciones. El sector del *renting* está demostrando un crecimiento que le permitirá alcanzar la media europea en una década (Reino Unido y Holanda encabezan el sector con un 40% y 30% cada uno). Y aunque el sector de las empresas es el más explotado, también se da entre particulares y autónomos, habiendo crecido un 60% entre 2015 y 2016; ya hay 15.000 personas que utilizan este servicio. Además tiene potencial para rejuvenecer el parque (es una industria con vehículos de 2 a 4 años de antigüedad) y por ello se considera dentro del Plan Movea (Muñiz, 2016).

<sup>178</sup> Para mayor detalle de esta lógica, véase el subapartado *Biocombustibles* en el apartado 4.1.



**TABLA 66. Objetivos de consumo en biocombustibles en relación a los carburantes de automoción (% en consumo energético)**

2016	2017	2018	2019	2020	2020+
4,3	5	6	7	8,5	10

Fuente: elaboración propia a partir de (Gobierno de España, 2016).

En todos los escenarios no se considera un incremento de estos porcentajes al entenderse que los combustibles de segunda generación no estarán disponibles hasta el entorno del 2030, con lo cual se considera que la futura incorporación de este tipo de combustibles no va a afectar significativamente a los resultados de los escenarios. Desde el año 2020 en adelante se mantiene un 10% de consumo energético en renovables ya que era el objetivo perseguido por la Directiva 2009/28/CE en cuanto a energías renovables en el transporte<sup>179</sup>.

Este porcentaje de biocombustibles está incorporado en los convencionales, y aunque se trate de una energía alternativa, no figura por tanto en la representación de las mismas en los gráficos de este apartado, pero ello no significa que no se considere.

### ***Vehículo eléctrico***

Tanto la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) como el Marco de Acción Nacional (MAN) entienden por vehículo eléctrico (VE) los BEV, los PHEV y los REEV. Por tanto, en los escenarios se entenderá que los BEV y los PHEV integran este grupo<sup>180</sup>.

No se considera que en el vehículo eléctrico se alcance una igualdad de costes,<sup>181</sup> en términos de coste total de utilización por el propietario (TCO), hasta 2025 (ver capítulo 4, subapartado 4.2.3). A partir de esa fecha podría tener lugar un crecimiento más significativo de las ventas, estando esto condicionado por: a) que se mantengan o no los incentivos a la adquisición y de su cuantía, b) nuevas políticas de promoción y c) nivel de imposición a la energía. Con respecto a esto último, a pesar de estar en proceso de revisión en la UE la Directiva 2003/96/CE sobre imposición a la energía, se considera que a lo largo de todos los escenarios no hay

<sup>179</sup> En cualquier caso, la nueva Directiva 2015/1513/UE incluye un 7% máximo para los biocombustibles producidos a partir de cereales y de otros cultivos plantados en tierras agrícolas (DOUE, 2015). Esta ha de ser transpuesta a fecha de 10 de septiembre de 2017 por España y por tanto modificará los objetivos de biocombustibles. También incluye que para el cálculo de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables consumida por los vehículos eléctricos de carretera, se considerará que dicho consumo corresponde a cinco veces el contenido en energía del insumo de electricidad procedente de fuentes de energía renovables.

<sup>180</sup> Los REEV también forman parte teóricamente de este grupo, pero para simplificar los escenarios, no se consideran específicamente debido a su baja penetración en los últimos años. Por ejemplo, en junio de 2016, los BEV y los PHEV mostraban cifras de matriculación similares de 858 y 822 turismos respectivamente, mientras que los REEV sólo alcanzaban 97 (Gobierno de España, 2016).

<sup>181</sup> Eurelectric espera una paridad de precios entre los vehículos eléctricos y los de combustión interna para 2020 (Eurelectric, 2015).

cambios en la tributación y el diferencial de coste con los combustibles convencionales se mantiene constante

Los datos de partida tienen en cuenta que entre 2015 y 2016 las ventas de vehículos eléctricos aumentaron un 51% (ANFAC, 2017). En base a esto, se considera que las ventas experimentan un fuerte incremento, superándose dicho 51% y moderándose el crecimiento de las ventas posteriormente debido al desarrollo del mercado<sup>182</sup>.

De esta manera los supuestos<sup>183</sup> Superior e Inferior tienen el mismo crecimiento en lo que respecta al vehículo eléctrico entre 2015 y 2020, punto en el que ya se supera el objetivo del Gobierno de España para 2020 en cuanto a turismos eléctricos. A partir de aquí, ambos escenarios se separan, con una moderación de las ventas más acusada para el supuesto Inferior. Finalmente, en los últimos años del escenario, el crecimiento de las ventas se modera teniendo en cuenta las fuertes tasas de los años anteriores<sup>184</sup>.

Adicionalmente, se contempla un supuesto adicional, denominado “Superior Plus”, que supondría una superación de las previsiones del supuesto Superior. Esto se produciría en base a varias circunstancias que se consideran como posibles dentro del sector, y que por tanto, deberían tenerse en cuenta.

En primer lugar, el precio de las baterías podría caer más rápidamente de lo considerado hasta ahora (en el apartado 4.2.3 se puede apreciar cómo hay análisis más optimistas respecto a los considerados aquí para la igualación de los TCO).

Por otro lado, ya han sido anunciados objetivos ambiciosos por algunos de los grandes fabricantes de automóviles, como Mercedes o Volkswagen. Este último anunció en la Paris Car Show de octubre de 2016 que pretende ofertar 30 modelos de vehículos eléctricos en 2025, y superar los dos millones de ventas anuales de este tipo (Winton, 2016).

A esto hay que añadir que en este supuesto se considera que existe un movimiento favorable a la instalación de infraestructuras de recarga. Las Administraciones promoverían intensamente las mismas y los gestores de recarga eléctrica tendrían una actividad más acusada. Al mismo tiempo las compañías eléctricas tendrían una posición más activa en este campo, la regulación despejaría dudas y posibles solapes y clarificaría las actuaciones de los agentes, que tendrían un horizonte más claro. De esta manera se llegaría a una dinámica más “agresiva”, de manera que el sector del vehículo eléctrico cogería más fuerza.

---

<sup>182</sup> Cabe señalar en este aspecto las “previsiones” de Monitor Deloitte, según las cuales se debería lograr aproximadamente un 100% de penetración eléctrica en 2050, para lo que se requeriría una totalidad de ventas de vehículos eléctricos ligeros desde el año 2040 (Monitor Deloitte, 2016). Esto supondría una curva de crecimiento del parque en forma de “S”, lo que va en la línea de un mercado que coge impulso inicial y luego se modera con su propio desarrollo.

<sup>183</sup> Se han tenido en cuenta las ventas en Holanda y Francia, así como las estimaciones de Eurelectic y la Agencia Internacional de la Energía.

<sup>184</sup> Según Alphabet, las mejores previsiones indican que en España el 35% de los automóviles serán eléctricos en el año 2040 (Ruiz, 2016).

### ***Gas natural comprimido***

Respecto al gas natural, también se establecen dos escenarios, inferior y superior, aunque estos son diferentes desde su comienzo. El primero iría en la línea de que, una vez establecidos incentivos y desarrollada la infraestructura, se podría alcanzar cotas de crecimiento del parque como las que se han alcanzado en Italia, país de referencia en Europa para este segmento que ha experimentado un crecimiento del 8% anual en los últimos diez años (Eurostat, 2017).

El escenario superior es más optimista, incluyendo los objetivos del Gobierno de España hasta 2020. De esta manera el parque de GNC crecería con tasas elevadas entre el 28% y el 25%<sup>185</sup> hasta 2025, punto a partir del cual se moderaría algo con la igualación de los TCO del vehículo eléctrico, con un crecimiento del parque del 20% hasta 2030 y del 15% hasta 2035.

Respecto a estos dos escenarios, hay que mencionar que la experiencia en otros países, no sólo en Italia, ha demostrado que un crecimiento inicial del parque de vehículos de GNC no parece sostenerse en el largo plazo, aun considerando un fuerte desarrollo de las infraestructuras de repostaje. Así, según la NGV Association, Alemania alcanzó un crecimiento del parque del 5,4% en los últimos ocho años (0,7% en los últimos cuatro). Esto contrasta con el cómputo global del 20% entre 1996 y 2016, a pesar de un fuerte crecimiento de los puntos de repostaje. Es decir, más infraestructuras de recarga de GNC no parecen implicar mayor crecimiento en el número de turismos.

De hecho, los turismos no suponen el segmento mayoritario del número de vehículos de gas, sino sólo el 18% (Gobierno de España, 2016). Esto significa que los turismos por sí solos no son representativos del crecimiento de esta energía. En cambio, el verdadero crecimiento se dará en el transporte de mercancías, como GNL en vehículos pesados. Por ello, a la hora de evaluar la penetración progresiva de las energías alternativas en el transporte de pasajeros por carretera, en lo que respecta a turismos, el GNC muestra un crecimiento inferior al resto de los combustibles alternativos considerados.

Por tanto, con el fin de contextualizar adecuadamente esta energía, en el siguiente gráfico se muestra una comparación de los escenarios superior e inferior para el GNC/GNL tanto para turismos como para el parque global. De esta manera se puede enmarcar el crecimiento de esta energía al compararla con otras que tienen mayor penetración para los turismos<sup>186</sup>.

Además, ha de tenerse en cuenta que los escenarios son en base a los vehículos de GNC puros, es decir, que no se incluyen los vehículos bifuel, de gas natural y gasolina.

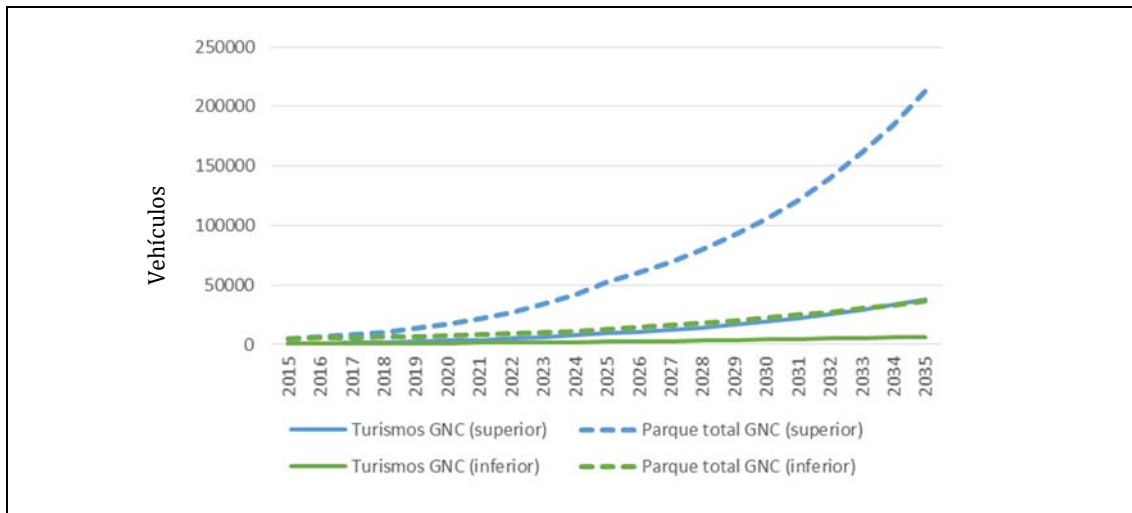
---

<sup>185</sup> Considerando las estadísticas de GASNAM, que es una de las principales fuentes empleadas, entre otras, en el MAN.

<sup>186</sup> Debido a esta circunstancia, en los gráficos de los escenarios que se muestran más adelante, los turismos de GNC se leen en un eje diferente al del resto de vehículos, de manera que se pueda distinguir adecuadamente su crecimiento.

Se considera que estos vehículos están incluidos en el parque de gasolina, caso en el que el consumo de gas natural puede ser mayor y el de gasolina menor. Esta circunstancia se considera parcialmente en los escenarios a continuación, considerando un porcentaje de los turismos de gasolina como bifuel.

**GRÁFICO 43. Introducción progresiva del GNC hasta 2035 en número de vehículos en los dos escenarios, para los turismos y para el parque total para España**



Fuente: elaboración propia.

### ***Gases licuados del petróleo***

Respecto a los GLP, se incluye el objetivo del Gobierno de España en 2020, para lo que se requiere un crecimiento del parque de un 38% anual hasta dicho momento. A partir de ahí, el crecimiento se modera año a año hasta 2025, donde la igualación del TCO del vehículo eléctrico implica una estabilización en el 5%, cifra que también ha alcanzado Italia (Eurostat, 2017). El motivo por el que los GLP decaen y se estabilizan antes que el GNC es porque se trata de una energía más desarrollada actualmente que el GNC, de manera que el mercado alcanza la madurez y se estabiliza antes.

Al igual que con el GNC, se considera que aquellos turismos que combinen gasolina con los GLP están dentro de los vehículos a gasolina en estos escenarios, por lo que en dicho caso el consumo de GLP sería mayor. En cualquier caso en los siguientes escenarios se considera el caso de que parte de los turismos a gasolina matriculados sean bifuel.

### ***Híbrido convencional***

También se incluye el caso del vehículo híbrido, para el que se considera una tendencia en ventas similar a la del vehículo eléctrico, partiendo de un crecimiento de las ventas entre 2015 y 2016 del 68% (ANFAC, 2017). Este comienza a estabilizarse antes del año 2025, debido al comienzo de la penetración del vehículo

eléctrico con la igualación del TCO. Finalmente, a partir de 2030, el híbrido representará todas las matriculaciones de vehículos convencionales.

### 5.3.1.2. Hipótesis de crecimiento de las ventas y del parque para la elaboración de los supuestos

El conjunto de supuestos que se ha descrito hasta ahora lleva a los siguientes crecimientos del parque de cada tipo de vehículos, para la elaboración posterior de los escenarios, que siguen las hipótesis examinadas más arriba y que se “trasladan” al caso de la CAPV.

**TABLA 67. Supuestos contemplados para los escenarios, en términos de crecimiento porcentual de ventas o del parque en la CAPV**

		2015-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035
VE	Inferior (1)	51-70	60-20	15-7	7
	Superior (1)	51-70	67-25	23-15	15
	Superior Plus (2)	69		69-15	15-3
GNC	Inferior (2)	8			
	Superior (2)	28	25	20	15
GLP	Base (2)	38	30-10	5	
Hyb	Base (1)	68-46	32-8	8	Decrecimiento: 6-86

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: (1) se refiere a crecimiento anual en ventas; (2) crecimiento anual del parque. Las cifras indican el rango de crecimiento en los diferentes años del periodo.

Nota 2: En el caso del escenario Superior + Hyb, cuando se desglosa el VE en BEV (51%) y PHEV (49%), el crecimiento de las ventas es en todo caso el mismo que sin desglose (es decir, Superior).

El porcentaje de los diferentes tipos de vehículos (turismos), según los supuestos anteriores en el conjunto del parque, puede verse en la tabla siguiente.

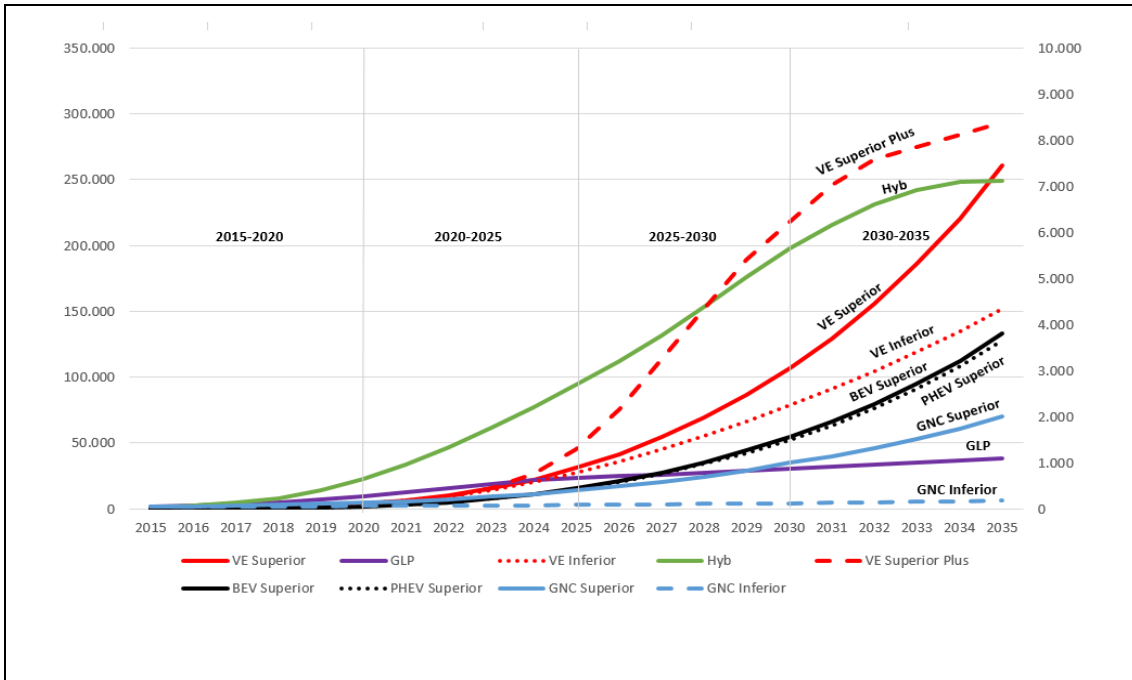
**TABLA 68. Porcentaje del parque total de turismos según los supuestos anteriores en la CAPV**

		2015	2020	2025	2030	2035
VE	Inferior	0,02	0,4	3	8	16
	Superior	0,02	0,4	3	11	28
	Superior Plus	0,02	0,4	5	23	31
GNC	Inferior	0,004	0,01	0,01	0,01	0,02
	Superior	0,004	0,01	0,04	0,1	0,2
GLP		0,2	1	2	3	4
Híbrido		0,1	2	10	21	26

Fuente: elaboración propia.

En base a los supuestos anteriores de penetración de las diferentes tecnologías de vehículos, el siguiente gráfico muestra cómo resultaría la evolución del parque de vehículos en la CAPV entre 2015 y 2035, en concreto combinando los supuestos superiores para el vehículo eléctrico y el gas natural. Se ve cómo el vehículo eléctrico se acerca a la gasolina cerca del final del periodo considerado.

**GRÁFICO 44. Introducción progresiva de los VEA hasta 2035 en la CAPV en número de vehículos en cada escenario, para las distintas energías**



Fuente: elaboración propia.

Nota: Los turismos de GNC se leen en el eje de la derecha.

En base a los supuestos anteriores, se han construido, por combinación de los mismos, varios escenarios que se especifican en la tabla siguiente. En dicha tabla también se incluyen los resultados en cuanto a sobrecoste de vehículos, inversión en infraestructuras, ahorro en combustibles y reducción de emisiones.

TABLA 69. Escenarios y resultados

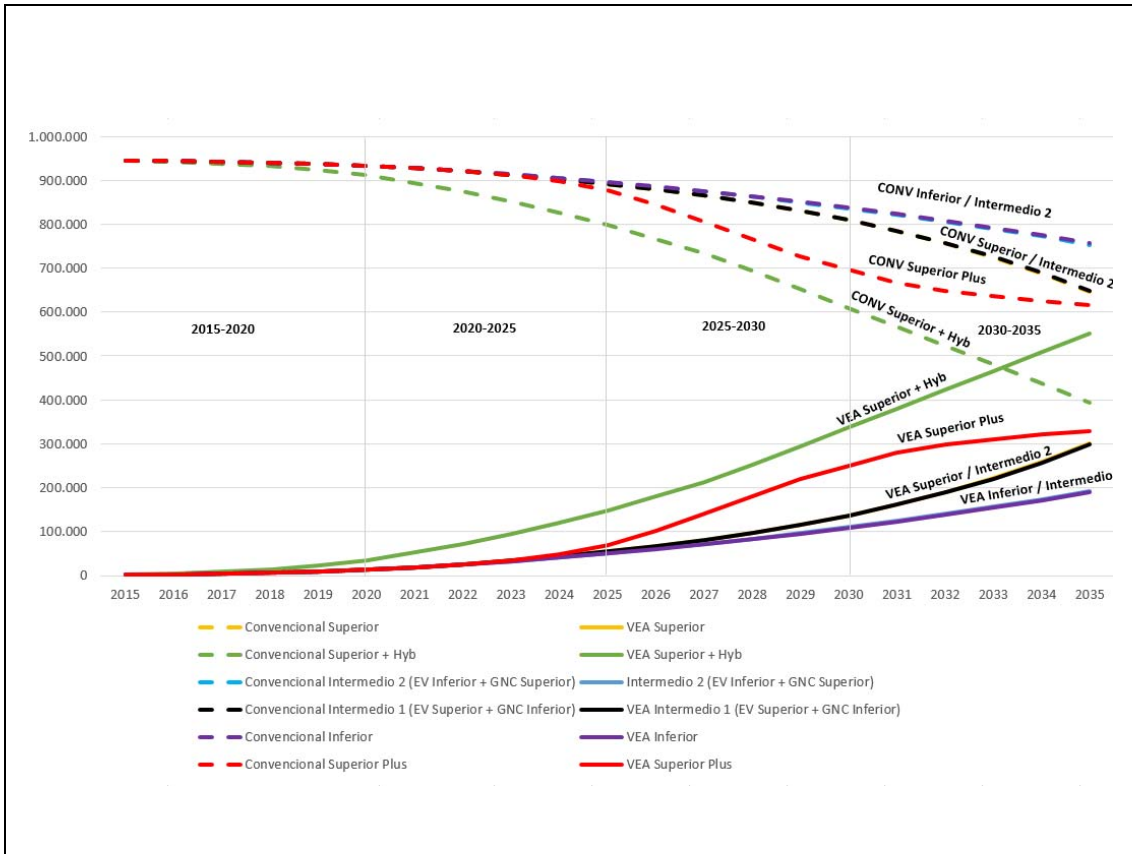
Escenarios	Nº	BEV	PHEV	GNC	GLP	Hyb	Nº Vehículos acumulados	Sobrecoste vehículos Acumulados (M€)	Inversión en infraestructuras (M€)	Ahorro en combustible acumulado (M€)	Payback (años)	Emisiones CO <sub>2</sub> acumuladas (kt)	Emisiones NO <sub>x</sub> acumuladas (t)	Emisiones PM acumuladas (t)
Superior + Hyb	I	Sup	0	Sup	Base	Base	151.875	1.960	161	1.875	7	5.158	2.347	204
Superior Plus	II	Sup Plus	0	Sup	Base	0	91.549	1.424	178	1.550	7	4.553	1.842	198
Intermedio 2 (EV Inf y GNC Sup)	III	Inf	0	Sup	Base	0	52.752	781	92	772	7	2.122	862	98
Superior	IV	Sup	0	Sup	Base	0	83.747	1.297	161	1.043	7	2.971	1.204	133
Intermedio 1 (EV Sup y GNC Inf)	V	Sup	0	Inf	Base	0	83.437	812	161	1.038	5	2.963	1.201	132
Inferior	VI	Inf	0	Inf	Base	0	52.251	491	78	766	5	2.114	859	97
Superior + Hyb + PHEV	VII	Sup	Sup	Sup	Base	Base	151.875	2.312	100	1.749	9	4.664	2.201	175

Fuente: elaboración propia.

Nota: El sobrecoste acumulado es el sobrecoste teniendo en cuenta la caída del precio de las baterías (véase subapartado 4.2.3).

Tras lo anterior, la evolución para los diferentes escenarios de la penetración de VEA y convencionales se muestra en el gráfico siguiente. Llama la atención los cambios, ya muy apreciables, en el periodo 2025-2030 y, sobre todo, en el lustro 2030-2035. En particular, se observa un cruce en número de vehículos entre los convencionales y los VEA en el escenario I.

**GRÁFICO 45. Introducción progresiva de los VEA hasta 2035 en la CAPV en número de vehículos en todos los escenarios, para las distintas energías agrupadas en convencionales y alternativas**



Fuente: elaboración propia.

Nota: Los turismos de GNC se leen en el eje de la derecha.

La evolución de los escenarios, en términos de resultados económicos (sobrecoste de vehículos, inversiones en infraestructuras, y ahorro de combustible), y en cuanto a reducción de emisiones (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y PM), puede verse en los gráficos siguientes para los escenarios Superior + Hyb, (I), Superior Plus (II) y GNC Superior y VE Inferior (III). Los gráficos del resto de escenarios pueden verse en el anexo 8.

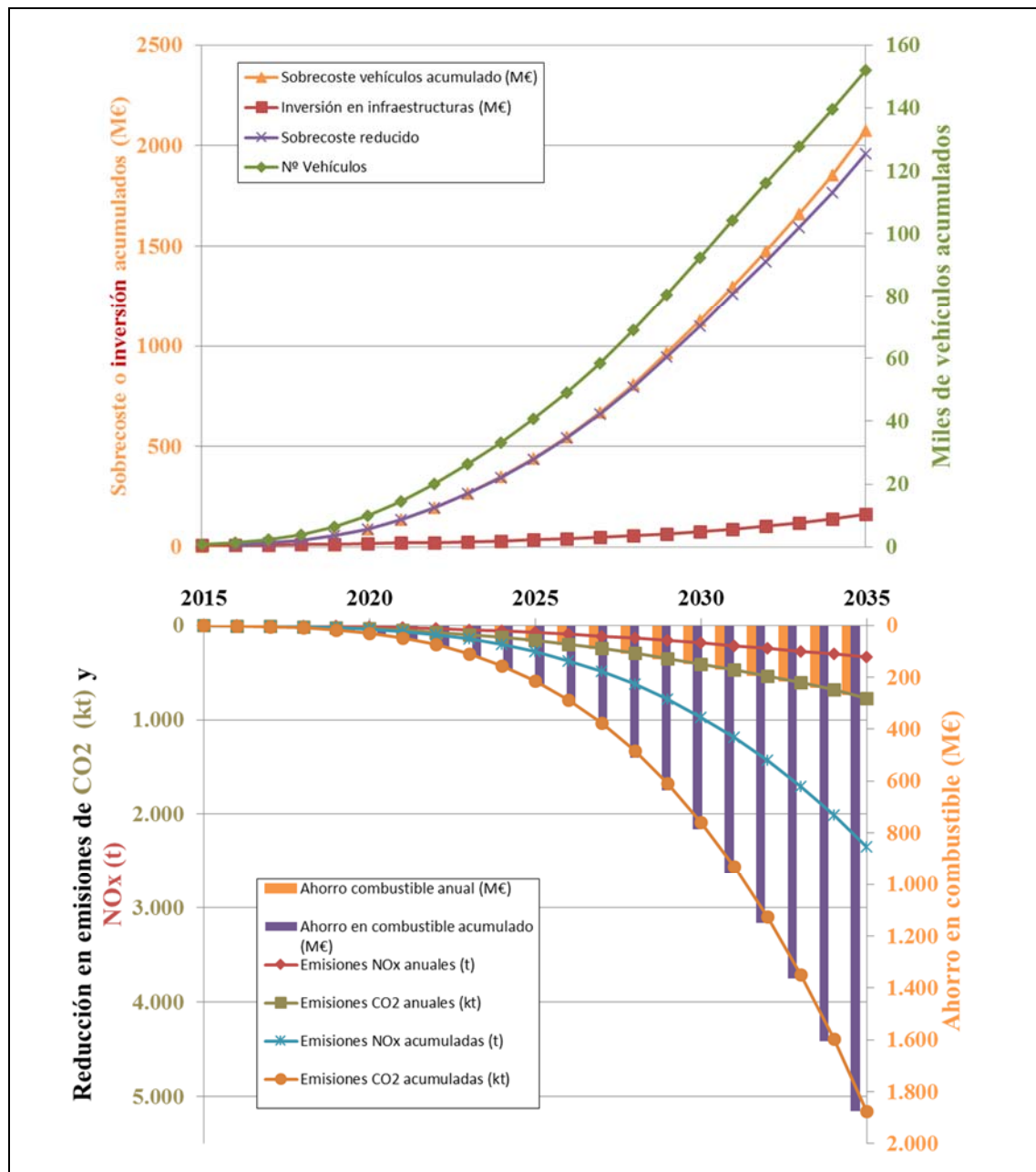
### **Escenario I (Superior + Hyb)**

Este primer escenario se caracteriza porque se produce una elevada penetración de vehículos de energías alternativas como los BEV y los de GNC. Además, se considera la sustitución de vehículos convencionales por híbridos convencionales. De todos los escenarios considerados, es el que mayor número de turismos sustituye, 151.875 frente a las 52.251 sustituciones en el escenario VI.



Con un elevado sobrecoste de los nuevos vehículos, que supera por poco el ahorro acumulado en el período considerado en términos de combustible, la reducción de GEI y de contaminantes resulta muy positiva.

**GRÁFICO 46. Sobrecoste en inversiones frente a número de vehículos. Reducción de emisiones y ahorro de combustibles. Escenario I**

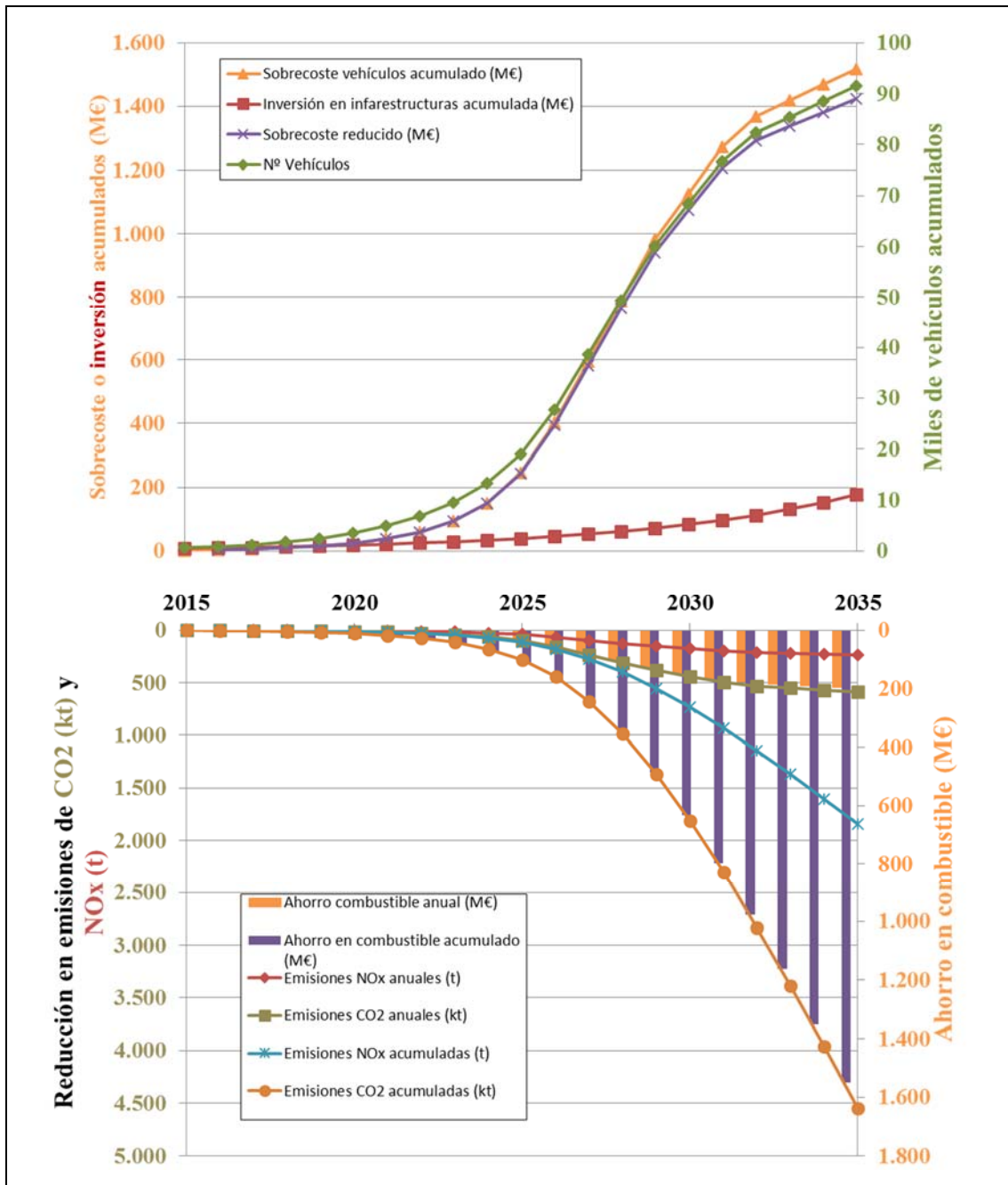


Fuente: elaboración propia.

**Escenario II (Superior Plus)**

En este caso, destaca la mayor inversión en infraestructuras, lo que puede deberse, en cierta medida a la manera de lograr la penetración. A diferencia de los demás casos considerados, en este la penetración tiene forma de S, lo que significa un primer período de penetración importante, con mayores costes, pero una posterior estabilización de los costes de la sustitución.

**GRÁFICO 47. Sobrecoste en inversiones frente a número de vehículos. Reducción de emisiones y ahorro de combustibles. Escenario II**



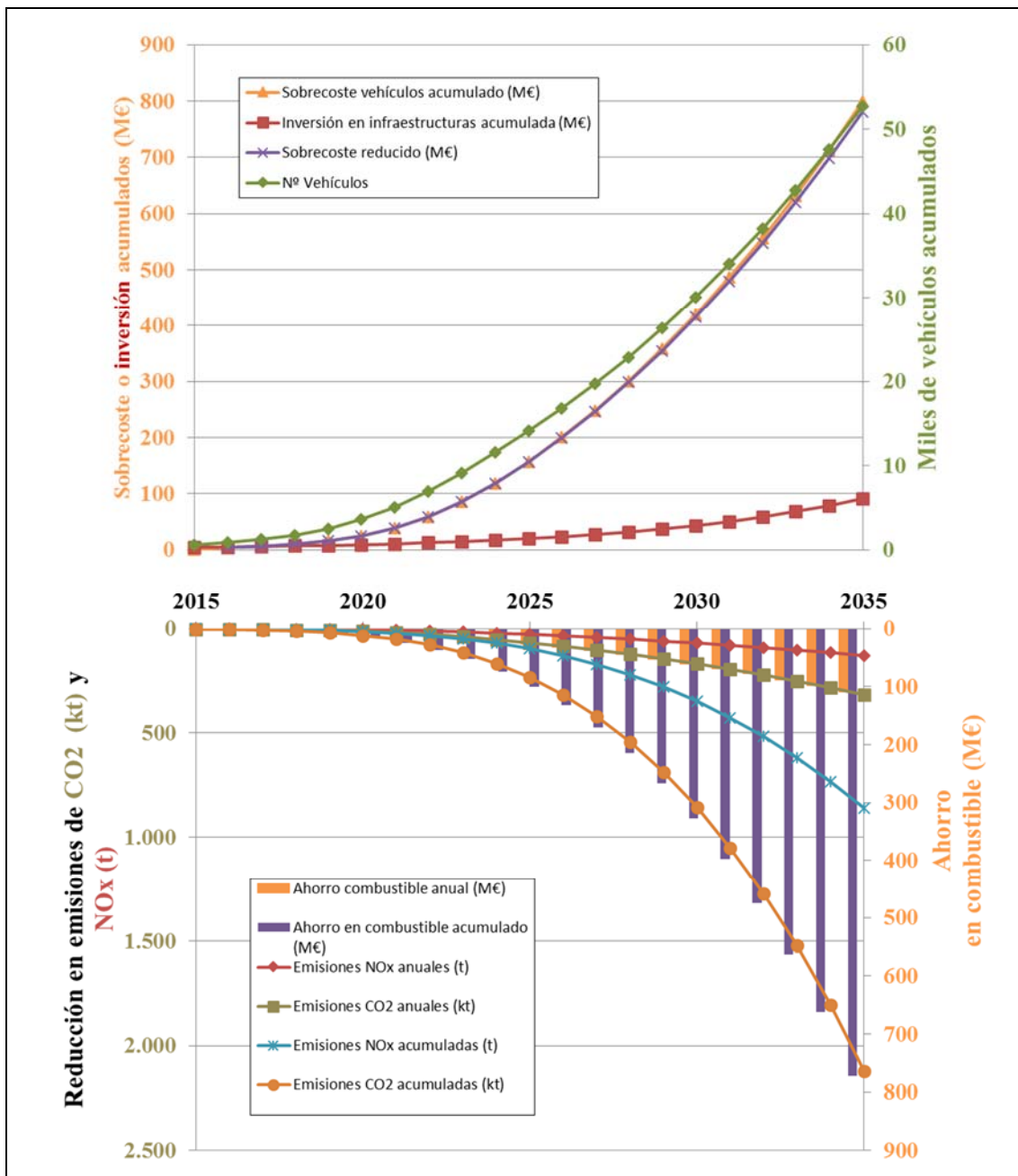
Fuente: elaboración propia.

Además, en este caso, el ahorro acumulado en combustibles supera a la inversión necesaria y los resultados en términos de emisiones parecen adecuados y proporcionales al esfuerzo realizado.

### **Escenario III (Intermedio 2, BEV Inferior y GNC Superior)**

En este caso, al final del período existe un reducido número de vehículos sustituidos por otros de energías alternativas, lo que se debe principalmente a las hipótesis consideradas, que consideran un mayor sobrecoste por vehículo en este caso.

**GRÁFICO 48. Sobrecoste en inversiones frente a número de vehículos. Reducción de emisiones y ahorro de combustibles. Escenario III**



Fuente: elaboración propia.

La inversión en infraestructuras es proporcionalmente superior, si se tiene en cuenta que en el momento en que se inicia el desarrollo de determinadas tecnologías, muy especialmente las relacionadas con la electricidad, es necesario acometerlas para cubrir las necesidades de los turismos que circulan en ese momento.

Respecto a los escenarios anteriores en este se producen las mayores reducciones de emisiones por euro del sobrecoste de la inversión, lo que muestra su elevada

eficiencia económica y medioambiental. Ello es probablemente debido a una menor penetración de los vehículos eléctricos.

### 5.3.2. Resultados. Un ejercicio para evaluar alternativas con base multicriterio

A continuación se realiza el mismo ejercicio para los escenarios de penetración progresiva que se ha llevado a cabo en el apartado 5.2.1. Los criterios igualmente van a ser el ahorro en costes de combustible, el coste específico del CO<sub>2</sub> por otro, el ahorro de costes medioambientales y la contribución a los objetivos de cambio climático.

Además, en el apartado 5.2 se ha procedido a establecer un análisis multicriterio para tratar de evaluar cada alternativa respecto a cada uno de los criterios, dándole a estos un peso distinto en base a unas políticas donde primen objetivos diferentes.

#### *Ahorro en coste de combustibles*

En base a los ahorros anuales de coste de combustibles, tal como se estableció anteriormente, y con el criterio de buscar qué escenario permite un ahorro mayor. Se puede establecer el siguiente orden.

**TABLA 70. Comparación de escenarios en función del ahorro de combustible (orden 1 = mejor opción, mayor ahorro)**

	Ahorro en combustible (M€/año)	Orden
Superior + Hyb	1.875	1
Superior Plus	1.550	3
Intermedio B (GNC Sup + VE Inf)	772	6
Superior	1.043	4
Intermedio A (GNC Inf + VE Sup)	1.038	5
Inferior	766	7
Superior + Hyb + PHEV	1.749	2

Fuente: elaboración propia.

#### *Coste específico del CO<sub>2</sub>*

En el apartado 5.2 se calculaban distintos costes específicos del CO<sub>2</sub> según cuatro supuestos diferentes, aplicados a su vez a los casos TTW, STW y WTW. Dado que se empleó el supuesto con emisiones STW, aquí se procede a buscar el mismo orden. Recuérdese que se busca aquí encontrar la opción que alcance una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a menor coste, según la fórmula siguiente, con los resultados que se reflejan en la tabla 69.

$$\text{Coste específico CO}_2 = \frac{\text{Inversión infraestructuras (M€)} + \text{Sobrecoste en vehículos (M€)}}{\text{Reducción acumulada de CO}_2 \text{ (Mt)}}$$

**TABLA 71. Comparación de escenarios en función del coste específico del CO<sub>2</sub> (orden 1 = mejor opción, reducción más económica)**

	Coste específico (€/t)	Orden
Superior + Hyb	432	4
Superior Plus	424	3
Intermedio B (GNC Sup + VE Inf)	480	5
Superior	582	7
Intermedio A (GNC Inf + VE Sup)	390	2
Inferior	315	1
Superior + Hyb + PHEV	519	6

Fuente: elaboración propia.

Estos costes, considerados para grandes inversiones en un periodo corto como es el 2015-2035, resultan muy elevados, aunque en la línea de las estimaciones de Fuels Europe<sup>187</sup> (Cooper, 2016).

Si por el contrario, se considera un periodo a más largo plazo, por ejemplo hasta 2100 como se hizo en los casos de sustitución completa (considerando que la tasa de reducción de emisiones se mantiene constante a partir de 2035), los costes específicos son del orden de 30 €/t.

### **Reducción de costes externos de emisiones**

Se sigue aquí el criterio de encontrar qué escenario permite la mayor reducción de los costes externos de las emisiones (STW). En primer lugar, se asigna un precio orientativo al CO<sub>2</sub>, de 10 €/t.

Se consideran de nuevo los precios dados de NO<sub>x</sub> y de partículas, siguiendo los valores de 4.964 €/t de NO<sub>x</sub>, que es según el estudio para la Comisión Europea *Update of the Handbook on External Costs of Transport* (Ricardo-AEA, 2014), el coste externo asociado a estas emisiones<sup>188</sup>.

<sup>187</sup> Para Cooper (2016), la descarbonización de la electricidad es cara. Su enfoque se basa en el cálculo de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en términos de reducción de emisiones específicas del vehículo eléctrico con el *mix* europeo respecto al convencional, que es de 44 gCO<sub>2</sub>/km. Supone un vehículo que utiliza 200.000 km en su vida, lo que supone una reducción de emisiones de 8,8 tCO<sub>2eq</sub> durante su vida útil. Por otra parte, considera unos costes sociales de subvención a la fabricación de vehículos, incentivos a la compra del vehículo, disminución de ingresos por impuestos y considera también un ahorro de combustible de 4.000 € en la vida útil del vehículo. Asume entonces un coste social de la tonelada de CO<sub>2</sub> de 1.136 €. Dicho enfoque difiere sustancialmente con lo aquí realizado, que trata de enfocar los costes y beneficios de las sustituciones con carácter global y aplicado al País Vasco, en términos de sobrecostes de vehículos, inversiones y de reducción de emisiones.

<sup>188</sup> Estimación basada en la cuantificación del impacto que las emisiones tienen en la salud, el medio ambiente y en la economía, siguiendo la metodología IPA (*Impact Pathway Approach*): emisión, dispersión, exposición, impacto. El impacto se determina mediante las funciones exposición/respuesta que relacionan los daños a la salud y el medio ambiente en relación con los cambios en la concentración de los contaminantes. En el caso del NO<sub>x</sub>, estas funciones se han determinado mediante estudios epidemiológicos. La valoración monetaria de los daños se realiza en base a estudios que analizan la disposición a pagar (*willingness to pay*) por la reducción del riesgo; por ejemplo, para la salud

El de las partículas según el mismo informe es de 48.012 €/t<sup>189</sup>.

En base a los supuestos anteriores, las siguientes tablas recogen los resultados. Puede verse que las mejores opciones son para los escenarios Superior+Híbrido (I) y Superior+Híbrido+PHEV (VII).

**TABLA 72. Comparación de escenarios en función de la reducción de costes medioambientales para precios dados en la UE (orden 1 = mejor opción, mayor reducción)**

	Reducción de costes de GEI (M€)	Reducción de costes de NO <sub>x</sub> (M€)	Reducción de costes de PM (M€)	Suma	Orden
Superior + Hyb	49	7	8	64	1
Superior Plus	38	1	4	42	3
Intermedio B (GNC Sup + VE Inf)	18	1	2	21	6
Superior	25	1	3	28	4
Intermedio A (GNC Inf + VE Sup)	25	1	3	28	5
Inferior	18	1	2	21	7
Superior + Hyb + PHEV	47	9	8	63	2

Fuente: elaboración propia.

**TABLA 73. Comparación de escenarios en función de la reducción de costes medioambientales para precios dados en RU (orden 1 = mejor opción, mayor reducción)**

	Reducción de costes de GEI (M€)	Reducción de costes de NO <sub>x</sub> (M€)	Reducción de costes de PM (M€)	Suma	Orden
Superior + Hyb	49	42	11	102	2
Superior Plus	38	3	5	46	3
Intermedio B (GNC Sup + VE Inf)	18	4	3	25	6
Superior	25	4	4	33	4
Intermedio A (GNC Inf + VE Sup)	25	4	4	32	5
Inferior	18	4	3	25	7
Superior + Hyb + PHEV	47	49	11	107	1

Fuente: elaboración propia.

<sup>189</sup> Si bien este es un término intermedio para una conducción interurbana.

**TABLA 74. Comparación de escenarios en función de la reducción de costes medioambientales para precios dados en UE y RU (criterio 1 = mejor opción, mayor reducción)**

	Orden según UE	Orden según RU	Promedio	Orden final
Superior + Hyb	1	2	2	1
Superior Plus	3	3	3	3
Intermedio B (GNC Sup + VE Inf)	6	6	6	6
Superior	4	4	4	4
Intermedio A (GNC Inf + VE Sup)	5	5	5	5
Inferior	7	7	7	7
Superior + Hyb + PHEV	2	1	2	1

Fuente: elaboración propia.

### **Contribución a los objetivos de cambio climático de la CAPV**

Un tercer criterio es considerar de nuevo la Estrategia Vasca de Cambio Climático 2050. Según esta, el Gobierno Vasco pretende reducir en 2030 las emisiones de GEI en un 40% respecto a los niveles de 2005, y un 80% en 2050.

Si estos porcentajes se aplican a las emisiones que se produjeron en el sector transporte (5,5 millones de toneladas en 2005), en 2030 el transporte debería emitir 2,2 Mt menos, y 4,4 Mt menos en 2050.

En la siguiente tabla se evalúa en qué porcentaje cumplen los parques resultantes en 2035 estos objetivos de emisiones, disponiéndose de esta manera de un indicador ambiental (pero no económico) de qué alternativa es mejor.

Para ello se han estimado las reducciones de emisiones (en base a TTW) de todos los turismos de la CAPV para pasar de un 72% a un 100% de desplazamientos.

**TABLA 75. Comparación de escenarios en función de la contribución a los objetivos climáticos de la CAPV (orden 1 = mejor opción, mayor contribución)**

	Reducción GEI TTW (kt) del 72%	Reducción GEI STW (Mt) estimada al 100%	Contribución al objetivo de 2030 (2,2 Mt)	Contribución al objetivo de 2050 (4,4 Mt)	Orden
Superior + Hyb	769	1,1	49%	24%	1
Superior Plus	591	0,8	37%	19%	3
Intermedio B (GNC Sup + VE Inf)	316	0,4	20%	10%	6
Superior	536	0,7	34%	17%	4
Intermedio A (GNC Inf + VE Sup)	535	0,7	34%	17%	5
Inferior	315	0,4	20%	10%	7
Superior + Hyb + PHEV	674	0,9	43%	21%	2

Fuente: elaboración propia.

### Prelación en base a varios criterios

Se dijo en el apartado anterior que los criterios vistos hasta ahora pueden valorarse en mayor o menor medida, según sea el carácter de la política a seguir. Es decir, puede haber políticas que primen más las cuestiones económicas, o tal vez las ambientales. Se han evaluado diferentes casos a continuación, en los que se dan diferentes pesos a los criterios para elegir qué alternativa sería mejor en uno u otro caso.

El primer caso (A) es un escenario donde se prima el ahorro de coste combustibles; el segundo (B), está centrado en la lucha contra el cambio climático; el tercero (C), busca sobre todo una reducción de los costes externos y ambientales debido a las emisiones, el (D) se centra en los costes específicos del CO<sub>2</sub> y en los ahorros de los costes medioambientales. Por su parte, en el escenario final (E) se asigna el mismo peso a cada criterio.

**TABLA 76. Pesos para ponderar los criterios de valoración de las alternativas**

	Ahorro de combustible	Coste específico	Ahorro de costes medioambientales	Contribución a los objetivos de reducción de GEI
A	60%	20%	20%	0%
B	0%	20%	20%	60%
C	0%	30%	60%	10%
D	0%	60%	40%	0%
E	25%	25%	25%	25%

Fuente: elaboración propia.

Ponderando cada criterio según los pesos asignados en cada política, los órdenes serían los siguientes.

**TABLA 77. Orden de los escenarios según criterios**

	Ahorro de combustible	Coste específico CO <sub>2</sub>	Ahorro de costes medioambientales	Contribución climática	Ponderación				
					A	B	C	D	E
Superior + Hyb	1	4	1	1	2	2	2	3	2
Superior Plus	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Intermedio B (GNC Sup + VE Inf)	6	5	6	6	6	6	6	5	6
Superior	4	7	4	4	5	5	5	6	5
Intermedio A (GNC Inf + VE Sup)	5	2	5	5	4	4	4	3	4
Inferior	7	1	7	7	6	6	5	3	6
Superior + Hyb + PHEV	2	6	1	2	3	3	3	4	3

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, el escenario superior híbrido, y el superior+híbrido+PHEV es el más interesante.



### 5.3.3. A modo de conclusiones

Del análisis de las diferentes circunstancias y perspectivas para los diferentes tipos de vehículos de energías alternativas que se han ido detallando en este apartado, resultan unos escenarios en los que se empiezan a notar penetraciones progresivas significativas de VEA a partir del año 2025.

Si bien en el año 2025 en varios supuestos (el del eléctrico Superior Plus, el GLP y el GNC) comienza a crecer el peso de las energías en comparación con las convencionales, los resultados no son realmente significativos, salvo para los híbridos convencionales, que aunque no son vehículos de energías alternativas, el análisis muestra que pueden tener una penetración significativa y creciente ya al comienzo de la próxima década.

Es interesante observar que podría ocurrir que en el periodo 2025-2030, la penetración de los vehículos eléctricos se acelere y cobre mayor importancia y que en el año 2035, los eléctricos pudiesen alcanzar un peso del orden del 20%. Llama la atención quizás, la relativa poca penetración del GNC, debiendo reiterarse que por las razones apuntadas en el capítulo, y para los turismos, no se visualiza una fuerte penetración del gas, sino más bien en los segmentos de furgonetas y transporte más pesado, en especial en forma de GNL, que no es objeto de análisis en este estudio.

Los escenarios logran una penetración diferente de los VEA e híbridos convencionales, pero no se traduce en ningún caso en la consecución de todos los objetivos. Por tanto, la Administración debería plantearse qué objetivos se persiguen y si entre ellos se encuentra el de promocionar, por ejemplo, la industria de la automoción y sus componentes.

La variedad de escenarios demuestran que las distintas combinaciones siempre dan órdenes importantes de beneficios ambientales, lo que implica que hay espacio para la convivencia de distintas tecnologías.

En función de los diferentes escenarios, el sobrecoste de vehículos acumulado al año 2035, año "horizonte" elegido como final del período, iría de unos 500 M€ a unos 2.300; la inversión en infraestructuras, de 80 a 180 M€; los ahorros en combustible, de 770 a 1.900 M€; las reducciones en emisiones de CO<sub>2</sub> acumuladas a 2035, de 2 a 5 MtCO<sub>2eq</sub>; las de NO<sub>x</sub>, de 860 a 2.300 toneladas y en partículas, de 100 a 200 toneladas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

ACICAE, Expansión (2017). *Desafíos del sector de la automoción*. 2º encuentro ACICAE-Expansión. Bilbao, 15 de febrero de 2017. Archivo de los autores.

Acierto.com (2014). *¿Diesel o Gasolina? - En torno a 150.000 españoles eligen mal cada año*. Retrieved from: <https://www.acierto.com/prensa/diesel-o-gasolina-150000-eligen-mal.html>

AFDC (2015). Alternative Fuels Data Center. U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. Retrieved from:

<http://www.afdc.energy.gov/fuels/>

AIE (2015). *Oil Medium-Term Market Report 2015. Market Analysis and Forecasts to 2020*. Agencia Internacional de la Energía. Retrieved from:

[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MTOMR\\_2015\\_Final.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MTOMR_2015_Final.pdf)

AIE (2016a). *Energy and Air Pollution. World Energy Outlook Special Report*. Agencia Internacional de la Energía. Retrieved from:

<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WorldEnergyOutlookSpecialReport2016EnergyandAirPollution.pdf>

AIE (2016b). *Global EV Outlook 2016*. Beyond one million electric cars. Retrieved from:

[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global\\_EV\\_Outlook\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf)

AIE (2016c). *Oil Medium-Term Market Report 2016*. Agencia Internacional de la Energía.

AIE (2017). *Scenarios and projections*. International Energy Agency. Retrieved from: <http://www.iea.org/publications/scenariosandprojections/>

Álvarez Pelegrý (2015). *El precio del petróleo: relación con otros mercados e implicaciones para la competitividad industrial*, en ICE.

Álvarez, L. (2016). *Más movilidad, más facilidades*. Expansión, especial Renting. 20 de octubre de 2016.

Álvarez, A., Menéndez, J. y Bravo, M. (2017). *Desarrollo de la movilidad sostenible en la CAPV. Un examen comparativo con Italia (GNC) y Francia (VE)*. Documentos de Energía, Cátedra de Energía de Orkestra – Instituto Vasco de Competitividad. Pendiente de publicación.

AOGLP (2015). *Autogas. ¿Cómo beneficia a España?* Retrieved from: <http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspeInf/EnergiaCC/06Divulgaci%C3%B3n/6eEventos/2015JornGenera/Ficheros/07AOGLP.pdf>

AOGLP (2017). Dónde repostar. Retrieved from: <http://www.aoglp.com/que-es-autogas/donde-repostar/>

Arraibi, J. (2016). Gas en el Mix Energético de Futuro. XVII Encuentro del Sector Gasista. Madrid, 01 de octubre de 2015.

Audatex (2014). *¿Qué será de mi taller en los próximos cuatro años? Claves para ganar en eficiencia*. Presentación en Innotaller. Barcelona, 15 de octubre de 2014. Retrieved from:

<http://www.gremibcn.com/CatalogoInnotaller2014/pdf/AudatexPresentacionInnotaller2014.pdf>

Baquero (2016). *El modelo eléctrico de Seat tendrá un diseño totalmente nuevo*. El País, noviembre de 2016.

Barbadillo, R., Pertierra, J., Herce, J., Hernández, P. y Vizcaíno, D. (2014). *El transporte en autocar, una solución sostenible para la movilidad de las personas. Contribución económica, regulación y restos del sector*. CONFEBUS, FENEBÚS, ASINTRA. Retrieved from: <http://www.asintra.org/publicaciones/ver/867/el-transporte-en-autocar-una-solucion-sostenible-para-la-movilidad-de-las-personas-2014>

Barnard, M. (2015). EVs Could Cut Global Gasoline Use By 2040. Retrieved from: <https://cleantechnica.com/2015/09/06/evs-cut-global-gasoline-use-2040/>

Beltrán, M. (2015). Implantación infraestructuras carga GNC-GNL. Gas Natural Fenosa. VI Forum Gas Vehicular. Barcelona, 11 de mayo de 2015. Retrieved from: [http://www.stauto.org/sites/www.stauto.org/files/SIAB%202015\\_GNC\\_Gas%20Natural.pdf](http://www.stauto.org/sites/www.stauto.org/files/SIAB%202015_GNC_Gas%20Natural.pdf)

Bi Aste (2016). *El servicio de préstamo de bicicletas incorporará unidades eléctricas en 2017*. Bi Aste, octubre de 2016.

BOE (2010). Real Decreto-ley 6/2010, de 9 de abril, de medidas para el impulso de la recuperación económica y el empleo. Retrieved from: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-5879>

BOE (2011). Real Decreto 647/2011, de 9 de mayo, por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética. Retrieved from: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-8910](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-8910)

BOE (2014). Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 «Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos», del Reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y se modifican otras instrucciones técnicas complementarias del mismo. Retrieved from: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-13681](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-13681)

BOE (2015a). Real Decreto 1078/2015, de 27 de noviembre, por el que se regula la concesión directa de ayudas para la adquisición de vehículos de energías alternativas, y para la implantación de puntos de recarga de vehículos eléctricos en 2016, MOVEA. Retrieved from: [http://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-12900](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-12900)

BOE (2015b). Real Decreto 1085/2015, de 4 de diciembre, de fomento de los Biocarburantes. Retrieved from: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-13208](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-13208)

BOE (2016). Real Decreto 639/2016, de 9 de diciembre, por el que se establece un marco de medidas para la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos. Retrieved from:

<https://www.boe.es/boe/dias/2016/12/10/pdfs/BOE-A-2016-11738.pdf>

Bravo, M. (2017). Documento interno de trabajo.

CEN (2016). European Committee for Standardization. Retrieved from: <https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=CENWEB:6:::NO::>

Chargemap (2016). Statistics regarding charging points in Norway. Retrieved from: <https://chargemap.com/stats/norway>

Cluster Energía (2016). Proyecto Azkarga. Áreas estratégicas. Retrieved from: <http://www.clusterenergia.com/Contenidos/Ficha.aspx?IdMenu=98dd5a83-228e-4157-b2da-4200bd3d655e&Idioma=es-ES>

CNMC (2016). Listado de gestores de cargas. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. Retrieved from:

[https://sede.cnmc.es/Portals/2/Documentaci%C3%B3n/Procedimientos/Gestores%20de%20carga/201606\\_Listado%20Gestores%20de%20Cargas\\_CNMC.pdf](https://sede.cnmc.es/Portals/2/Documentaci%C3%B3n/Procedimientos/Gestores%20de%20carga/201606_Listado%20Gestores%20de%20Cargas_CNMC.pdf)

CNMC (2017). Comparador de ofertas de energía. Retrieved from: <https://comparadorofertasenergia.cnmc.es/comparador/index.cfm?js=1&e=N>

Comisión Europea (2006). *World Energy Technology Outlook – 2050. WETO – H<sub>2</sub>*. Retrieved from: [http://cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/weto-h2\\_en.pdf](http://cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/weto-h2_en.pdf)

Comisión Europea (2011a). Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. COM(2011) 112 final. Retrieved from: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112&from=ES>

Comisión Europea (2011b). *Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies*. Commission staff working paper. SEC(2011) 1609 final. Retrieved from:

[https://setis.ec.europa.eu/activities/materials-roadmap/Materials\\_Roadmap\\_EN.pdf/view](https://setis.ec.europa.eu/activities/materials-roadmap/Materials_Roadmap_EN.pdf/view)

Comisión Europea (2013). EU Energy, Transport and GHG Emissions. Trends to 2050. Reference Scenario 2013.

Comisión Europea (2014). Nueva política de infraestructuras de transporte de la UE – Contexto. Retrieved from: [http://europa.eu/rapid/press-release MEMO-14-525 es.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-525_es.htm)

Comisión Europea (2015). Actualización de la hoja de ruta hacia la Unión de la Energía. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. COM(2015) 572 final. Retrieved from: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2015/ES/1-2015-572-ES-F1-1-ANNEX-2.PDF>

Comisión Europea (2016). *EU Reference Scenario 2016. Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050.* Retrieved from: <https://ec.europa.eu/energy/en/news/reference-scenario-energy>

Comisión Europea (2017). Market analysis. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/market-analysis>

Cooper, E., Arioli, M., Carrigan, A. y Jain, U. (2012). *Emisiones de escape de autobuses de transporte público. Combustibles y vehículos para transporte urbano sostenible.* EMBARQ. Retrieved from:

<http://www.wrirosscities.org/sites/default/files/Spanish-Exhaust-Emissions-Transit-Buses-EMBARQ.pdf>

Cooper, J. (2016). Downstream Oil & EU Climate Policy. How do we balance environmental and competitiveness objectives for the longer term? Fuels Europe.

CORES (2015a). Informe estadístico anual 2015. Retrieved from: <http://www.cores.es/es/publicaciones>

CORES (2015b). Consumo de productos petrolíferos. Año 2015.

CORES (2015c). Consumo de combustibles para el transporte por carretera por CC.AA.

DEFRA (2015). Valuing impacts on air quality: Updates in valuing changes in emissions of Oxides of Nitrogen (NO<sub>x</sub>) and concentrations of Nitrogen Dioxide (NO<sub>2</sub>).

Delgado, O. y Muncrief, R. (2015). *Assessment of Heavy-Duty Natural Gas Vehicle Emissions: Implications and Policy Recommendations.* The International Council on Clean Transportation (ICCT).

Deloitte (2015). Un modelo energético sostenible para España en 2050. Recomendaciones de política energética para la transición.

Detter, H. (2015). Satisfying transportation needs in fast-growing metropolitan.

DOE (2013). *Fuel Cell Technologies Office Record. On board type IV Compressed Hydrogen Storage Systems - Current Performance and Cost*. United States Department of Energy. Retrieved from:

[https://energy.gov/sites/prod/files/13010\\_onboard\\_storage\\_performance\\_cost.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/13010_onboard_storage_performance_cost.pdf)

DOE (2015). *Quadrennial Technology Review. Chapter 8: Advancing Clean Transportation and Vehicle Systems and Technologies*. United States Department of Energy. Retrieved from:

[https://energy.gov/sites/prod/files/2017/03/f34/quadrennial-technology-review-2015\\_1.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2017/03/f34/quadrennial-technology-review-2015_1.pdf)

DOUE (2014). Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de octubre de 2014 relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos. Diario Oficial de la Unión Europea. Retrieved from:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>

DOUE (2015). Directiva (UE) 2015/1513 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 9 de septiembre de 2015 por la que se modifican la Directiva 98/70/CE, relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo, y la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Retrieved from:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32015L1513>

DRAE (2016). Diccionario de la Lengua Española. Retrieved from:

<http://dle.rae.es/?w=diccionario>

Drummond, P. y Ekins, P. (2016). *Tackling air pollution from diesel cars through tax: options for the UK*. Green Budget Europe.

EASE/EERA (2013). Joint EASE/EERA recommendations for a European Energy Storage Technology Development Roadmap towards 2030. European Association for Storage of Energy (EASE) & European Energy Research Alliance (EERA). Retrieved from: <http://ease-storage.eu/wp-content/uploads/2015/10/EASE-EERA-recommendations-Roadmap-LR.pdf>

EDP (2014). *Invierte 310.000 euros en la estación y realiza la primera fase del cambio total a gas natural de su flota de vehículos*. Retrieved from:

<http://www.edpenergia.es/institucional/es/sala-de-prensa/noticias/invierte-310000-euros-en-la-estacion-y-realiza-la-primera-fase-del-cambio-total-a-gas-natural-de-su-flota-de-vehiculos.html?idCategoria=0&fechaDesde=&especifica=0&texto=&fechaHasta=&srfToken=5BFAFC7EC9AA3C8B909E15C8D2B5F39A>

EDP (2016). Proyecto SMART green gas. Retrieved from: <https://www.sostenibilidadedp.es/pages/index/Proyecto%20SMART%20Green%20Gas>

Edwards, R., Larivé, J., Rickeard, D., Weindorf, W. (2014a). *WELL-TO-TANK Report Version 4.a JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS*. JRC Research Reports. European Commission. Retrieved from: [http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report\\_2014/wtt\\_report\\_v4a.pdf](http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report_2014/wtt_report_v4a.pdf)

Edwards, R., Hass, H., Larivé, J., Lonza, L., Maas, H., Rickeard, D. (2014b). *WELL-TO-WHEELS Report Version 4.a. JEC WELL-TO-WHEELS ANALYSIS*. JRC Research

EEA (2015). *Monitoring CO<sub>2</sub> emissions from new passenger cars and vans in 2014*. European Environment Agency. Retrieved from:

<http://www.eea.europa.eu/publications/monitoring-emissions-cars-and-vans>

EEA (2016). *Explaining road transport emissions. A non-technical guide*. Retrieved from: <http://www.eea.europa.eu/publications/explaining-road-transport-emissions>

EFE (2017). *Repsol participa en el desarrollo del primer autobús impulsado al 100% por gas licuado*. Expansión, 26 de marzo de 2017. Retrieved from: <http://www.expansion.com/empresas/energia/2017/03/26/58d793c2ca474161528b45c0.html>

EIA (2017). *Petroleum & other liquids*. Retrieved from:

[https://www.eia.gov/dnav/pet/pet\\_pri\\_spt\\_s1\\_d.htm](https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm)

Electricitymaps (2016). *Live CO<sub>2</sub> emissions of the European electricity consumption*. Retrieved from: <http://electricitymap.tmrow.co/>

Electromaps (2016). *Bicicletas eléctricas urbanas*. Retrieved from:

<https://www.electromaps.com/bicicletas-electricas/nuevas/urbanas>

Element Energy (2012). *Cost and performance of batteries for EVs: Final Report for Committee on Climate Change*.

[https://www.theccc.org.uk/archive/aws/IA&S/CCC%20battery%20cost\\_%20Element%20Energy%20report\\_March2012\\_Public.pdf](https://www.theccc.org.uk/archive/aws/IA&S/CCC%20battery%20cost_%20Element%20Energy%20report_March2012_Public.pdf)

Enagás (2016). *Informe de la Huella de Carbono de Enagás 2016*. Retrieved from: [http://www.enagas.es/enagas/es/Sostenibilidad/Gestion\\_ambiental/Cambio\\_climatico\\_y\\_eficiencia\\_energetica](http://www.enagas.es/enagas/es/Sostenibilidad/Gestion_ambiental/Cambio_climatico_y_eficiencia_energetica)

Endesa (2016). *ZEM2ALL viaja 4,6 millones de kilómetros y evita a la atmósfera 330 tn CO<sub>2</sub>*. Retrieved from:

<http://www.endesa.com/es/saladeprensa/noticias/ZEM2ALL-viaja-4,6-millones-de-km-y-evita-a-la-atmosfera-330-Tn-CO2>

Energías Renovables (2016). *Barcelona estrena el primer cargador ultrarrápido para buses eléctricos de España*. Retrieved from: <http://www.energias->

[renovables.com/articulo/barcelona-estrena-el-primer-cargador-ultrarrapido-para-20160919](http://renovables.com/articulo/barcelona-estrena-el-primer-cargador-ultrarrapido-para-20160919)

Energía y Sociedad (2015). La eficiencia energética del vehículo eléctrico. Retrieved from: <http://www.energiaysociedad.es/ficha/4-2-la-eficiencia-energetica-del-vehiculo-electrico>

Errazti, I. (2016). *Bizkaibus es el transporte público con mayor déficit, nos cuesta 80 millones*. Entrevista a Vicente Reyes, Diputado de Transportes, Movilidad y Cohesión del Territorio (PSE). El Correo, 27 de noviembre de 2016.

Espinosa, R. (1991). Los movimientos cotidianos de población por motivos laborales en las ciudades pequeñas de servicios. Centro de Estudios de Castilla-La Mancha. Retrieved from:

<http://biblioteca2.uclm.es/biblioteca/ceclm/ARTREVISTAS/cem/CEM221RodriguezEspinosa.pdf>

Eurelectric (2015). Smart charging: steering the charge, driving the change. Retrieved from:

[http://www.eurelectric.org/media/169888/20032015\\_paper\\_on\\_smart\\_charging\\_of\\_electric\\_vehicles\\_finalpsf-2015-2301-0001-01-e.pdf](http://www.eurelectric.org/media/169888/20032015_paper_on_smart_charging_of_electric_vehicles_finalpsf-2015-2301-0001-01-e.pdf)

Europa Press (2014). Los españoles reducen el uso del coche por la crisis. Retrieved from: <http://www.europapress.es/motor/seguridad-00643/noticia-espanoles-reducen-uso-coche-crisis-20140707112544.html>

European Commission. Reports. Retrieved from: [http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/wtw\\_report\\_v4a\\_march\\_2014\\_final.pdf](http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/wtw_report_v4a_march_2014_final.pdf)

Eurostat (2017). Energy. Retrieved from:

<http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data>

Eustat (2016). Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmosfera. Retrieved from:

[http://www.eustat.eus/estadisticas/tema\\_672/opt\\_1/ti\\_Inventario\\_de\\_Emisiones\\_de\\_Contaminantes\\_a\\_la\\_Atmosfera/temas.html](http://www.eustat.eus/estadisticas/tema_672/opt_1/ti_Inventario_de_Emisiones_de_Contaminantes_a_la_Atmosfera/temas.html)

EVE (2013a). 164 puntos de recarga de IBIL y 240 vehículos eléctricos en circulación. Retrieved from: <http://www.eve.eus/Eventos/Eventos-57/EVEntos-57-6.aspx?lang=es-ES>

EVE (2013b). *Tapia destaca el proyecto Mugielec como ejemplo de alianza empresarial estratégica*. Retrieved from: <http://www.eve.eus/Noticias/Mugielec-tecnologia-vasca-para-la-recarga-del-vehi.aspx?lang=es-ES>

EVE (2015). CAPV Energía, Datos Energéticos 2014. Retrieved from: <http://www.eve.eus/CMSPages/GetFile.aspx?guid=fc0bc51c-1e62-46d2-bf52-4392299c2fdb>



EVE (2016). Programa de Ayudas a Inversiones en Transporte y Movilidad Eficiente, Bases. Año 2016. Retrieved from:

<http://www.eve.eus/CMSPages/GetFile.aspx?guid=8beaf9c7-fb78-4921-80d6-4a7919c04b03>

EVE (2017). Promoción RKARGA. Retrieved from: <http://www.eve.eus/Proyectos-energeticos/Proyectos/Transporte-alternativo/Promocion-RKARGA.aspx>

FACONAUTO (2016). Servicio de Prensa y Comunicación.

FCE (2016). Federación de Campings de Euskadi. Retrieved from: <http://www.campingseuskadi.com/images/mapa.gif>

FENERCOM (2016). Jornada sobre Autogas: la Energía Alternativa de Hoy (19/05/2016). Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Archivo de los autores.

Fernández de Heredia, D. (2013). El AutoGas de Repsol: Foro Proclima. Presentación del 27 de junio de 2013, Madrid. Retrieved from:

<http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspeInf/EnergiaayCC/05ForoProclima/05cJornadas/Seminarios/2013JornVehiFPC/Ficheros/03R EPSOLAutogas13FPC.pdf>

FITSA (2008). Nuevos combustibles y tecnologías de propulsión.: Situación y perspectivas para automoción. Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil, Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía. Retrieved from:

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_nuevos\\_combustibles\\_6\\_2\\_d83b8b8.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_nuevos_combustibles_6_2_d83b8b8.pdf)

Flechas, A. (2006). Movilidad y transporte: un enfoque territorial. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Retrieved from: <https://es.scribd.com/doc/36218578/Movilidad-y-Transporte>

Fraunhofer (2013). *Technology roadmap energy storage for electric mobility 2030*. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research.

Fundación Repsol (2014). Eficiencia energética e intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero en España y la UE-15. 2014. Estudio técnico. Retrieved from: [http://www.fundacionrepsol.com/sites/default/files/publicaciones/estudio\\_tecnico\\_eficiencia\\_energetica\\_intesidad\\_emisiones\\_gei\\_2014\\_0.pdf](http://www.fundacionrepsol.com/sites/default/files/publicaciones/estudio_tecnico_eficiencia_energetica_intesidad_emisiones_gei_2014_0.pdf)

Fundación Repsol (2015). Evolución de la demanda de energía en el P. Vasco. Fundación Repsol.

Furfari, S. (2016). El GNL en los transportes como prioridad de la política energética de la UE. Revista OILGAS, nº 558 Mayo 2016.

García, F. (2015). *La rentabilidad de apoyar a la industria del motor*. Expansión. 10 de octubre de 2015.

GASNAM (2016). Estaciones de GNV. GNVs en España. Asociación Ibérica de del Gas Natural para la Movilidad. Retrieved from: <http://gasnam.es/estaciones-gas-natural-vehicular/>

Generalitat de Catalunya (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)*. Retrieved from:

<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

Giménez, J.C. (2017). *Medidas para un transporte sostenible*. Gas Actual, nº 142, enero/marzo 2017. Retrieved from:

<https://www.sedigas.es/gasactual/142/mobile/index.html>

Gobierno de España (2016). Marco de Acción Nacional de Energías Alternativas en el Transporte. Desarrollo del mercado e implantación de la infraestructura de suministro. En cumplimiento de la Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2014. Retrieved from: <http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/Servicios/Documents/Marco-Accion-Nacional-energias-alternativas-transporte.aspx.pdf>

Gobierno Vasco (2002). Plan Director del Transporte Sostenible. La política común de transportes sostenibles en Euskadi 2.002-2.012. Retrieved from: [http://www.garraioak.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informacion/2905/es\\_4076/adjuntos/plan\\_transporte\\_c.pdf](http://www.garraioak.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informacion/2905/es_4076/adjuntos/plan_transporte_c.pdf)

Gobierno Vasco (2010). Revisión del Segundo Plan de Carreteras de la CAPV. Clasificación de la red de carreteras de la CAPV. Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial. Retrieved from: [http://www.garraioak.ejgv.CAPV.eus/r41-430/es/contenidos/informacion/segundo\\_plan\\_gral\\_carreteras/es\\_pgc2/pgc.html](http://www.garraioak.ejgv.CAPV.eus/r41-430/es/contenidos/informacion/segundo_plan_gral_carreteras/es_pgc2/pgc.html)

Gobierno Vasco (2012). *Estudio de la Movilidad de la Comunidad Autónoma Vasca 2011*. Retrieved from:

[http://www.CAPV.eus/contenidos/documentacion/em2011/es\\_def/adjuntos/Movilidad%20Encuesta%202011.pdf](http://www.CAPV.eus/contenidos/documentacion/em2011/es_def/adjuntos/Movilidad%20Encuesta%202011.pdf)

Gobierno Vasco (2014). Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera de la C.A. del País Vasco. Anual 1990-2012. Retrieved from: [http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-564/es/contenidos/estadistica/inventario\\_emisiones\\_atmosfera/es\\_emisions/inventario\\_emisiones\\_atmosfera.html](http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-564/es/contenidos/estadistica/inventario_emisiones_atmosfera/es_emisions/inventario_emisiones_atmosfera.html)

Gobierno Vasco (2015a). Panorámica del Transporte en CAPV 2014. OTEUS, Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial. Retrieved from: [http://www.garraioak.ejgv.CAPV.eus/contenidos/documentacion/panoram2014/es\\_def/adjuntos/PANORAMICA%202014.pdf](http://www.garraioak.ejgv.CAPV.eus/contenidos/documentacion/panoram2014/es_def/adjuntos/PANORAMICA%202014.pdf)

Gobierno Vasco (2015b). Estrategia de Cambio Climático 2050 de la CAPV. Klima 2050. Retrieved from:

[http://www.irekia.CAPV.eus/uploads/attachments/6563/Klima\\_2050\\_es.pdf?1434962805](http://www.irekia.CAPV.eus/uploads/attachments/6563/Klima_2050_es.pdf?1434962805)

Gobierno Vasco (2016). Estrategia Energética de Euskadi 2030. Retrieved from: [http://www.industria.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informacion/estrategia\\_energetica\\_euskadi/es\\_def/adjuntos/3E2030\\_Estrategia\\_Energetica\\_Euskadi\\_v3.0.pdf](http://www.industria.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informacion/estrategia_energetica_euskadi/es_def/adjuntos/3E2030_Estrategia_Energetica_Euskadi_v3.0.pdf)

Gobierno Vasco (2017). Presupuestos del Gobierno Vasco. Retrieved from: <http://aurrekontuak.irekia.euskadi.eus/es/policies>

Google Maps (2016). Retrieved from: <https://www.google.es/maps>

Green eMotion (2017). Retrieved from: <http://www.greenemotion-project.eu/partners/index.php>

Harding, R. e Inagaki, K. (2017). Toyota's hydrogen gamble. Inagaki. Financial Times, 29 de marzo de 2017.

Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., Hammer Strømman, A. (2012). *Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles*. Journal of Industrial Ecology, Volume 17.

Hensley, R., Knupfer, S. y Pinner, D. (2009). *Electrifying cars: How three industries will evolve*. McKinsey Quaterly.

Ibáñez, P (2014a). Comprar una bicicleta eléctrica: precios, modelos y consejos. Xataka. Retrieved from: <http://www.xataka.com/vehiculos/las-bicicletas-electricas-tambien-son-para-el-verano-toma-nota-de-como-comprar-una>

Ibáñez, P (2014b). Si quieres un coche eléctrico estos son los 7 mejores que se pueden comprar a día de hoy. Xataka. Retrieved from:

<http://www.xataka.com/automovil/si-quieres-un-coche-electrico-estos-son-los-7-mejores-que-se-pueden-comprar-a-dia-de-hoy>

IBIL (2016). Red pública de recarga. Retrieved from:

<https://www.ibil.es/index.php/es/que-necesito/servicio-integral-de-recarga/red-publica-de-recarga>

IBIL (2017). Tipos de recarga. Retrieved from:

<https://www.ibil.es/index.php/es/movilidad-electrica/la-recarga/tipos-de-recarga>

IDAE (2006). Guía para la gestión del combustible en las flotas de transporte por carretera. Retrieved from:

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10232\\_Guia\\_gestion\\_combustible\\_flotas\\_carretera\\_06\\_32bad0b7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10232_Guia_gestion_combustible_flotas_carretera_06_32bad0b7.pdf)

IDAE (2012). Mapa tecnológico. Movilidad Eléctrica. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Observatorio Tecnológico de la Energía. Retrieved from: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_movilidad\\_electrica\\_acc\\_c603f868.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_movilidad_electrica_acc_c603f868.pdf)

IDAE (2016). *Informe de precios energéticos regulados*. Retrieved from: <http://www.idae.es/index.php/idpag.802/relcategoria.1368/reلمenu.363/mod.pags/mem.detalle>

Igea, O. (2014). El Gobierno vasco recupera las subvenciones al autogás como alternativa 'limpia' a la gasolina. Retrieved from:

<http://www.elcorreo.com/bizkaia/sociedad/201408/06/gobierno-vasco-recupera-subvenciones-20140805202554.html>

Ihobe (2015). Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la CAPV. Retrieved from:

[http://www.ingurumena.ejgv.CAPV.eus/contenidos/documentacion/inventarios\\_gei/es\\_pub/adjuntos/2014.pdf](http://www.ingurumena.ejgv.CAPV.eus/contenidos/documentacion/inventarios_gei/es_pub/adjuntos/2014.pdf)

Inagaki, K. (2017). *Toyota recalls 'ultimate eco-car' fleet*. Financial Times, 16 de febrero de 2017.

INE (2016). Red de carreteras, Retrieved from:

<http://www.ine.es/metodologia/t10/t10a109r.pdf>

IPCC (2014). *Climate Change 2014. Synthesis report. Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from: [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)

Ircongas (2016). *El jueves, desplazamientos gratis con autobuses AutoGas en Valladolid*. Retrieved from: <https://www.ircongas.com/noticias-autogas-glp/el-jueves-desplazamientos-gratis-con-autobuses-autogas-en-valladolid-239>

ISO (2016). ISO/PC 252 Natural gas fuelling stations for vehicles. Retrieved from: [http://www.iso.org/iso/standards\\_development/technical\\_committees/other\\_bodies/iso\\_technical\\_committee.htm?commid=606615](http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=606615)

Jackson, N. (2011). Infographic: How Does a Hybrid Car Engine Actually Work? The Atlantic. Retrieved from:

<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2011/06/infographic-how-does-a-hybrid-car-engine-actually-work/241021/>

Jiménez, R. y Guillén, B. (2017). *Las Vegas exhibe los televisores y coches del futuro*. El País, 8 de enero de 2017.

Km77.com (2015). Prueba de consumo (191): Seat León 1.4-TGI. Retrieved from: <http://blogs.km77.com/arturoandres/prueba-de-consumo-191-seat-leon-1-4-tgi/>

Km77.com (2016). Buscador de precios y fichas técnicas de coches. Retrieved from: <http://www.km77.com/precios/buscar>

La Caixa (2010). La economía de la CAPV: diagnóstico estratégico. Colección Comunidades Autónomas. Retrieved from:

<http://www.sepe.es/LegislativaWeb/verFichero.do?fichero=09017edb800da424>

La Gaviota (2012). Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Natural Vehicular (GNV). Retrieved from: <http://www.gasolineraslagaviota.com/wp-content/uploads/2012/11/Vehicular.pdf>

Lapuerta, M. y Ballesteros, R. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*, Capítulo 15: Emisiones Contaminantes. Payri, F. y Desantes, J.M, Editorial Reverté y Editorial Universitat Politècnica de València.

Larrea, M. (2016). Análisis y comentarios a la estrategia 3E-2030. Documento interno de trabajo.

León, P. y Unión, J. (2016). *Las ciudades españolas se asfixian*. El País, 6 de noviembre de 2016.

LNG Blue Corridors (2016). Retrieved from: <http://lngbc.eu/>

Lubrizol (2016). Estándares de emisión de la Unión Europea. Retrieved from: <https://espanol.lubrizol.com/EngineOilAdditives/ACEA/ReferenceMaterial/EuropeanUnionEmissionsStandards.html>

Madina, C., Zamora, I., Zabala, E. (2016). *Methodology for assessing electric vehicle charging infraestructura business models*. Energy Policy 89, February 2016, p. 294-293.

Madrid (2016). Protocolo para Episodios de Alta Contaminación por NO<sub>2</sub>. Retrieved from:

<http://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Actualidad/Noticias/Aprobado-el-nuevo-Protocolo-para-Episodios-de-Alta-Contaminacion-por-NO2?vgnextfmt=default&vgnextoid=9cb4008bcc362510VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnnextchannel=a12149fa40ec9410VgnVCM100000171f5a0aRCRD>

MAGRAMA (2013). Plan Nacional Transitorio (PNT) español. Directiva 2010/75/UE. Grandes instalaciones de combustión. Retrieved from: <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/medio-ambiente-industrial/prevencion-y-control-integrados-de-la-contaminacion-ipcc/grandes-instalaciones-combustion/default.aspx>

MAGRAMA (2016a). Emisiones de gases de efecto invernadero en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Retrieved from: <http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/emisiones.aspx>

MAGRAMA (2016b). El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente apuesta por impulsar en la UE una política integrada de movilidad sostenible. Nota de prensa. Retrieved from: <http://www.magrama.gob.es/es/prensa/noticias/el-ministerio-de-agricultura-alimentaci%C3%B3n-y-medio-ambiente-apuesta-por-impulsar-en-la-ue-una-pol%C3%A9tica-integrada-de-movilidad-sostenible-/tcm7-418005-16>

MAGRAMA (2016c). Evaluación de la calidad del aire en España 2015.

Mapfre (2016). Los 5 coches eléctricos más vendidos. Retrieved from: <http://www.motor.mapfre.es/coches/noticias/6024/5-coches-electricos-mas-vendidos>

MAPAMA (2017). Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. Retrieved from: <http://www.prtr-es.es/informes/seriespollutant.aspx>

MAZARRASA, A. (2016). La formación de los precios de los carburantes en España y sus vínculos con el mercado internacional. Cuadernos de Energía, nº49. Retrieved from:

[https://www.enerclub.es/frontNotebookAction/Biblioteca/Publicaciones/Enerclub/Cuadernos/CE\\_N49](https://www.enerclub.es/frontNotebookAction/Biblioteca/Publicaciones/Enerclub/Cuadernos/CE_N49)

McKinsey & Company (2014). *EVolution. Electric vehicles in Europe: gearing up for a new phase?* Retrieved from:

[http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey%20Offices/Netherlands/Latest%20thinking/PDFs/Electric-Vehicle-Report-EN\\_AS%20FINAL.ashx](http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey%20Offices/Netherlands/Latest%20thinking/PDFs/Electric-Vehicle-Report-EN_AS%20FINAL.ashx)

MINETUR (2015a). Proyecto de Real Decreto por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 2014/94/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre, relativa a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos. Retrieved from:

[http://www.minetur.gob.es/industria/es-ES/participacion\\_publica/Documents/Borrador-ProyectoRD-Dir2014-94V2.pdf](http://www.minetur.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/Borrador-ProyectoRD-Dir2014-94V2.pdf)

MINETUR (2015b). Estrategia de Impulso del vehículo con energías alternativas (VEA) en España (2014-2020). Retrieved from:

<http://www.minetur.gob.es/industria/es-ES/Servicios/estrategia-impulso-vehiculo-energias-alternativas/Paginas/estrategia-vea.aspx>

MINETUR (2015c). Directiva 2014/94/UE. Infraestructura para los combustibles alternativos. Marco de acción nacional. IV Congreso GASNAM. Madrid, 20 de octubre de 2015. Retrieved from: [http://gasnam.es/wp-content/uploads/2015/10/Alejandro-Cros\\_Gob\\_Por.pdf](http://gasnam.es/wp-content/uploads/2015/10/Alejandro-Cros_Gob_Por.pdf)

MINETUR (2015d). *El Gobierno aprueba medidas para fomentar el uso de biocarburantes y asegurar así el cumplimiento de los objetivos contra el cambio*

climático. Notas de prensa. Retrieved from: <http://www.minetad.gob.es/es-ES/GabinetePrensa/NotasPrensa/2015/Paginas/20151204-biocarburantes.aspx>

MINETUR (2016a). GEOPORTAL. Retrieved from:

<http://geoportalgasolineras.es/#/Inicio>

MINETUR (2016b). Informes anuales de precios de carburantes. Comparaciones entre 2000-2001 y 2014-2015. Retrieved from: <http://www.minetur.gob.es/energia/petroleo/Precios/Informes/InformesAnuales/Paginas/InformesAnuales.aspx>

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2010). Informe preliminar de evaluación ambiental de la planificación de los sectores de electricidad y gas 2012-2020. Retrieved from: [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/documento\\_inicio\\_planelectricidadygasc tcm7-146326.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/participacion-publica/documento_inicio_planelectricidadygasc tcm7-146326.pdf)

Monitor Deloitte (2016). *Un modelo energético sostenible para España en 2050. Recomendaciones de política energética de transición.*

Monitor Deloitte (2017). *Un modelo de transporte descarbonizado para España en 2050. Recomendaciones para la transición.* Retrieved from: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/strategy/articles/la-descarbonizacion-del-modelo-energetico.html>

Monzón, A. y Rondinella, G. (2010). PROBICI. Guía de la Movilidad Ciclista. Métodos y técnicas para el fomento de la bicicleta en áreas urbanas. IDAE. Retrieved from: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos LibroProBici-GuiaBici-web1\\_1\\_f17cebb2.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos LibroProBici-GuiaBici-web1_1_f17cebb2.pdf)

movilidadelectrica.com (2017), Guía de cables y conectores del vehículo eléctrico. Retrieved from: <http://movilidadelectrica.com/guia-cables/>

Muñiz, M. (2016). *España alcanzará la media europea en una década.* Expansión, especial Renting. 20 de octubre de 2016.

Navas, N. (2017). *"Habrá más concentración en el sector del automóvil"*K. Entrevista a Harald Krüger, Presidente de BMW. El País, 26 de marzo de 2017.

Navigant Research (2014). *Worldwide Gasoline Consumption Will Fall by 4 Percent from 2014 to 2035.* Retrieved from:

<https://www.navigantresearch.com/newsroom/worldwide-gasoline-consumption-will-fall-by-4-percent-from-2014-to-2035>

Norsk elbilforening (2016). Norwegian EV market. Retrieved from: <http://elbil.no/english/norwegian-ev-market/>

Noya, C. (2016). *Coches eléctricos que llegarán en los próximos 3 años.* Diario Renovables, 27 de diciembre de 2016.

NPE (2015). Charging Infrastructure for Electric Vehicles in Germany Progress Report and Recommendations 2015. German National Platform for Electric Mobility. Retrieved from: [http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/AG3\\_Statusbericht LIS 2015 engl klein bf.pdf](http://nationale-plattform-elektromobilitaet.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/AG3_Statusbericht_LIS_2015_engl_klein_bf.pdf)

Nykvist, B. y Nilsson, M. (2015). *Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles*. Nature Climate Change. Retrieved from:

<http://www.nature.com/nclimate/journal/v5/n4/full/nclimate2564.html>

OECD-FAO (2016). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*. Retrieved from [http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2016 agr outlook-2016-en](http://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2016_agr_outlook-2016-en)

Olaizola, B. (2017). *Cerco al diésel*. El Correo, 23 de enero de 2017.

Ormazabal, M. (2016). *¿Autobuses eléctricos? La empresa vasca Irizar pisa el acelerador*. El País. Retrieved from:

[http://economia.elpais.com/economia/2016/03/18/actualidad/1458322262\\_541902.html](http://economia.elpais.com/economia/2016/03/18/actualidad/1458322262_541902.html)

OTEUS (2016). Costes externos del transporte. Sistema de Información del Transporte, Observatorio del Transporte de CAPV. Retrieved from: <http://www1.CAPV.net/sistrans/lista.apl?idioma=c&tema=8&sel=273>

Patey, T., Flueckiger, A., Poland, J., Segbers, D. y Wicki, S. (2016). *Cargado en un instante. Optimización De las baterías para un autobús de carga ultrarrápida*. ABB Review, 4/16.

Petronor (2010). Manual de los Sistemas de Gestión de Seguridad, Medio Ambiente y Calidad. Retrieved from: [http://petronor.eus/wp-content/uploads/2015/05/Manual Sistemas Gestion.pdf](http://petronor.eus/wp-content/uploads/2015/05/Manual_Sistemas_Gestion.pdf)

Posada, F., Bandivadekar, A. y German, J. (2012). *Estimated Cost of Emission Reduction Technologies for Light-Duty Vehicles*. The International Council on Clean Transportation (ICCT).

Ramos, V. (2017). *GNV. Una realidad imparable*. Gas Actual, nº 142, enero/marzo 2017. Retrieved from: <https://www.sedigas.es/gasactual/142/mobile/index.html>

Raso, C. (2016). España lidera la primera prueba piloto del uso de GNL en trenes de pasajeros. Energía. El Economista. Nº 47, octubre de 2016. Retrieved from: <http://diario.eleconomista.es/i/742836-eleconomista-energ%C3%ADa-27-octubre-2016/31>

Raso, C. (2017). *Rutas más eficientes gracias al gas natural*. Gas Actual, nº 142, enero/marzo 2017. Retrieved from:

<https://www.sedigas.es/gasactual/142/mobile/index.html>



REE (2017). Series estadísticas del sistema eléctrico español. Retrieved from: <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/indicadores-nacionales/series-estadisticas>

Red2000 (2015). CAPV. Retrieved from:

<http://www.red2000.com/spain/region/1r-vasc.html>

Repsol (2014). *Comparativa GLP vs GN. Carburantes alternativos para automoción.*

Reviriego, J. (2017). *La contaminación se ventila en el Gran Bilbao.* El Correo, 8 de enero de 2017.

Ricardo-AEA (2014). *Update of the Handbook on External Costs of Transport. Final Report.*

Robusté, F., Cardenal, J., López, A. (2002). *El transporte en un plan energético metropolitano: aplicación a Barcelona.* I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Retrieved from:

[http://www.ciccp.es/webantigua/icitema/Comunicaciones/Tomo\\_1/T1p725.pdf](http://www.ciccp.es/webantigua/icitema/Comunicaciones/Tomo_1/T1p725.pdf)

Ruiz, C. (2016). *El lento pero seguro avance del enchufable.* Expansión, especial Renting. 20 de octubre de 2010.

Saggas (2015). *Declaración ambiental 2015.* Retrieved from:

<http://www.saggas.com/wp-content/uploads/2010/01/DECLARACION-AMBIENTAL-2015.pdf>

SEAT (2015). Gas natural comprimido. Retrieved from:

<http://www.seat.es/coches/gas-natural-comprimido.html>

SIT (2015). Sistema de Información del Transporte. Departamento de Transportes y Obras Públicas, Gobierno Vasco. Retrieved from:

<http://www1.euskadi.net/sistrans/redirec.apl?id=1295&inid=1001&idioma=c&tipo=B>

Smith, M. y Gonzales, J. (2014). Costs Associated With Compressed Natural Gas Fueling Infrastructure. Factors to consider in the implementation of fueling stations and equipment. U. S. Department of Energy. Retrieved from: [http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/cng\\_infrastructure\\_costs.pdf](http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/cng_infrastructure_costs.pdf)

Tzimas, E., Filiou, C., Peteves, S.D. y Veyret, J.-B. (2003). *Hydrogen storage: state-of-the-art and future perspective.* Joint Research Centre. Comisión Europea. Retrieved from:

<http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC26493/EUR%2020995%20EN.pdf>

TomTom (2016). TomTom Traffic Index. Retrieved from:

[https://www.tomtom.com/es\\_es/trafficindex/](https://www.tomtom.com/es_es/trafficindex/)

Unger, S. (2015). The impact of e-car deployment on global crude oil demand. Organization of the Petroleum Exporting Countries. Retrieved from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/opec.12067/full>

Werpy, R., Santini, D., Burham, A. y Mintz, M. (2010). Natural Gas Vehicles: Status, Barriers, and Opportunities. Retrieved from:

[http://www.afdc.energy.gov/pdfs/anl\\_esd\\_10-4.pdf](http://www.afdc.energy.gov/pdfs/anl_esd_10-4.pdf)

Winton, N. (2016). *Are Volkswagen's Electric Car Plans Overambitious, or On The Money?* Forbes, 13 de octubre de 2016. Retrieved from:

<https://www.forbes.com/sites/neilwinton/2016/10/13/are-volkswagens-electric-car-plans-overambitious-or-on-the-money/#1e26fa154b25>

## 7. ANEXOS

### 7.1. ANEXO 1: Siglas y acrónimos

ACV	Análisis del Ciclo de Vida
AIE	Agencia Internacional de la Energía
ANFAC	Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones
AOGLP	Asociación de Operadores de Gases Licuados del Petróleo
BEV	Vehículo eléctrico de batería ( <i>battery electric vehicle</i> en inglés)
BoP	<i>Balance of power</i>
CAPV	Comunidad Autónoma del País Vasco
CC.AA.	Comunidad(es) Autónoma(s)
CCGT	<i>Combined Cycle Gas Turbine</i>
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>
CHP	<i>Combined heat and power</i>
CLH	Corporación Logística de Hidrocarburos
CO <sub>2eq</sub>	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) equivalente
CONV	Vehículos convencionales (gasóleo y gasolina)
CV	Caballos de vapor
CVO	Observatorio del Vehículo de Empresa
DAFI	Implementación de infraestructura de combustibles alternativos ( <i>deployment of alternative fuels infrastructure</i> en inglés)
D.C.	Distrito de Columbia ( <i>District of Columbia</i> en inglés)
DGT	Dirección General de Tráfico
DICI	<i>Direct Injection Compression Ignition</i>
DISI	<i>Direct Injection Spark Ignition</i>
EPA	Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos ( <i>US Environmental Protection Agency</i> en inglés).
ERM	Estación de regulación y medida
EVE	Ente Vasco de la Energía
FC	Pila de combustible ( <i>fuel-cell</i> en inglés)
FCEV	Vehículos eléctricos de pila de combustible ( <i>fuel-cell electric vehicles</i> en inglés).
g	Gramos

GASNAM	Asociación Ibérica de Gas Natural para la Movilidad
GEI	Gases de efecto invernadero
gge	Galones equivalentes de gasolina ( <i>gasoline gallon equivalent</i> en inglés)
GNC	Gas natural comprimido
GNL	Gas natural licuado
Gpas-km	Miles de millones ( $10^9$ ) de pasajeros y kilómetros (producto). Expresa los kilómetros recorridos por el conjunto de pasajeros
hl	Hectolitros
HPDI	Inyección directa a alta presión ( <i>high pressure direct injection</i> en inglés)
HVO	Aceites vegetales hidrogenados
Hyb	Vehículo eléctrico híbrido ( <i>hybrid electric vehicle</i> en inglés), que en este trabajo no se considera “eléctrico” y por tanto se escribe sólo “híbrido” y se subraya su carácter convencional.
ICE	Motor de combustión interna ( <i>internal combustion engine</i> en inglés)
IPA	Impact Pathway Approach
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático ( <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> en inglés)
k€	Miles ( $10^3$ ) de euros
km	kilómetro
kt	Miles ( $10^3$ ) de toneladas
kWh	kilowatio hora
l	litro
MAN	Marco de Acción Nacional
M€	Millones ( $10^6$ ) de euros
mg	Miligramos
MGP	Metales del grupo platino
MOFs	<i>Metal Organic Frameworks</i>
Mpas	Millones ( $10^6$ ) de pasajeros
Mpas-km	Millones ( $10^6$ ) de pasajeros y kilómetros (producto). Expresa los kilómetros recorridos por el conjunto de pasajeros
Mtep	Millones de toneladas equivalentes de petróleo

n.a.	No aplica
NEDC	Nuevo Ciclo de Conducción Europeo ( <i>New European Driving Cycle</i> en inglés)
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos
OEM	Fabricante de vehículos ( <i>Original Equipment Manufacturer</i> en inglés)
OMI	Organización Marítima Internacional
Pas-km	Pasajeros y kilómetros (producto). Expresa los kilómetros recorridos por el conjunto de pasajeros
PEM	<i>Polymer-electrolyte membrane/proton-exchange membrane</i>
PHEV	Vehículo eléctrico híbrido enchufable ( <i>plug-in hybrid electric vehicle</i> en inglés)
PIB	Producto Interior Bruto
PISI	<i>Port Injection Spark Ignition</i>
PM	Partículas
PM10	Partículas que pasan a través del cabezal de muestreo definido en la norma EN 12341, con un rendimiento de separación del 50% para un diámetro aerodinámico de 10 micras
PMA	Peso máximo autorizado
RDE	Emisiones de conducción real ( <i>Real Driving Emissions</i> en inglés)
REEV	Vehículo eléctrico de autonomía extendida ( <i>range extended electric vehicle</i> en inglés)
RTE-T	Red Transeuropea de Transporte ( <i>Trans-European Transport Networks</i> o TEN-T en inglés)
SECA	Áreas de Control de Emisión de Azufre ( <i>Sulfur Emission Control Area</i> en inglés)
SET-Plan	Plan Europeo Estratégico de Tecnología Energética ( <i>European Strategic Energy Technology Plan</i> en inglés)
STW	Del sistema a la rueda ( <i>system-to-wheels</i> en inglés)
t	Toneladas
TC	Transporte por carretera
TCO	Coste total de utilización por el propietario ( <i>total cost of ownership</i> , en inglés)
tep	Toneladas equivalentes de petróleo

TTW	Del tanque a la rueda ( <i>tank-to-wheels</i> en inglés)
VE	Vehículo eléctrico
VEA	Vehículo con energías alternativas
WTT	Del pozo al tanque ( <i>well-to-tank</i> en inglés)
WTW	Del pozo a la rueda ( <i>well-to-wheels</i> en inglés)

## **7.2. ANEXO 2: Algunos temas relevantes tratados por la normativa española relativa al vehículo eléctrico**

### ***Figura del gestor de carga del vehículo eléctrico. Análisis de la adaptación de esta figura a las necesidades del mercado***

El Real Decreto-ley 6/2010, de 9 de abril, de medidas para el impulso de la recuperación económica y el empleo, en su artículo 23, reformó la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, para incluir en el marco normativo de dicho sector un nuevo sujeto llamado gestor de carga del sistema. Posteriormente se reguló su funcionamiento a través del Real Decreto 647/2011 por el que se regula la actividad de gestor de cargas del sistema para la realización de servicios de recarga energética.

Mediante este Real Decreto se define la actividad de los gestores de cargas del sistema consistente en la realización de servicios de recarga energética para vehículos eléctricos y se concretan y desarrollan los derechos y obligaciones de los gestores de cargas del sistema. Asimismo, se regula el procedimiento y los requisitos necesarios para el ejercicio de esta actividad, teniendo en cuenta que este nuevo sujeto tiene dos vertientes: es un consumidor, pero a la vez tiene carácter mercantil y suministra a cliente final, por lo que se asemeja a la figura del comercializador.

### ***Tarifa eléctrica supervalle***

Consiste en el establecimiento de un precio del peaje más reducido para los consumos realizados en las horas de menor demanda del sistema, desde la 1 de la madrugada hasta las 7 de la mañana, con menores precios que incentivan el traslado del consumo del periodo punta a estas horas para aplanar la curva de la demanda. Está disponible para los consumidores en baja tensión de potencia contratada hasta 10 kW.

### ***Instrucción Técnica para la Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos (ITC BT-52)***

El Real Decreto 1053/2014 aprobó una instrucción técnica complementaria (ITC) que se añadió a las ya incluidas en el Reglamento electrotécnico para baja tensión denominada ITC BT-52 "Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos", cuya finalidad era regular la alimentación eficiente y segura de las estaciones de recarga. Esta instrucción técnica complementaria, en lo referente a equipos y materiales, estableció que deben utilizarse estaciones de recarga con elementos de conexión normalizados y técnicamente seguros. Actualmente, se está trabajando en la elaboración de su guía técnica de implementación en aras de identificar aquellos aspectos que precisan indicaciones específicas.

***Análisis de la adecuación del precio anual del término de potencia para puntos de recarga rápida (50 kW)***

Análisis de la adecuación de los peajes de estos consumidores a su curva de carga respetando los principios de reparto de costes del sistema eléctrico y la sostenibilidad económica del mismo

***Habilitación para Instalar puntos de recarga en edificios residenciales (sin necesidad de autorización por la Comunidad de propietarios)***

Dada la tipología de viviendas en España, ha sido necesario modificar la Ley de Propiedad Horizontal para simplificar y facilitar la instalación de puntos de recarga eléctricos, de forma que no haya que someter la instalación de puntos de recarga a la aprobación de una junta de propietarios. Esta modificación está recogida en el artículo tercero de la Ley 19/2009, de medidas de fomento y agilización procesal del alquiler y de la eficiencia energética de los edificios.



### 7.3. ANEXO 3: Financiación pública en la CAPV para vehículos con energías alternativas

La sustitución de vehículos convencionales por otros de energías alternativas supone entre otros, un reto económico, si se tiene en cuenta que los VEA resultan en general más costosos que los convencionales.

Por este motivo las Administraciones de distintos países han desarrollado planes, de distinta naturaleza, para la promoción de este tipo de vehículos. A modo de ejemplo y para el vehículo eléctrico, se han concedido ayudas directas (descuento sobre el precio de compra del vehículo, instalación del punto de recarga, etc.) y exenciones fiscales que afectan al IVA, al impuesto de matriculación o al impuesto de circulación.

Noruega, donde el 23% de las ventas de vehículos en 2015 fueron de vehículos eléctricos, aportó cerca de 15.500 €/vehículo<sup>190</sup>, frente a los 7.750 €/vehículo en España<sup>191</sup> (Monitor Deloitte, 2017).

En el caso de la CAPV, a continuación se presentan las condiciones para la intensificación de ayudas.

**TABLA 78. Condiciones para la intensificación de ayudas en la CAPV**

Condición	Descripción
A	-Se ha de dar de baja definitiva para su achatarramiento un vehículo en uso (categorías M1 o N1), con siete años desde su primera matriculación. Se debe ser propietario antes de 2016. -Diferencia entre baja de dicho vehículo a matriculación del nuevo, no mayor de dos años.
B	-Disponer de condición de familia numerosa. -Vehículo de más de cinco plazas (categoría M1).
C	Discapacidad: acreditar movilidad reducida y la adaptación del vehículo.
D	-Acreditar vehículo para uso personal, especificando la distancia anual en kilómetros prevista a realizar. -Cumplir una de estas tres condiciones: ser persona jurídica (a excepción d empresas dedicadas a venta o alquiler de vehículos); ser persona física, autónomo, cotizar en la Seguridad Social y adquirir un vehículo categoría N1; o ejercer de taxista en la CAPV y que el vehículo tenga condición de taxi.
E	Adquirir más de cuatro vehículos subvencionables de las líneas 1.1, 1.2, 1.3 o 1.4, agrupándolos todos en la misma solicitud.

Fuente: elaboración propia a partir de (EVE, 2016).

Un elemento que se considera relevante y habría de tenerse en cuenta en la elaboración de programas de financiación de los VEA y que se comentaba en el capítulo 3, es la conveniencia de que la elaboración de programas de ayudas sea plurianual, ya que el carácter anual de las ayudas, implica incertidumbre a medio plazo a los potenciales compradores de vehículos de combustibles alternativos, al igual que a la parte de oferta del mercado.

<sup>190</sup> A través de exenciones fiscales.

<sup>191</sup> A través de descuentos sobre el precio de compra del vehículo y de la ayuda a la instalación del punto de recarga privado.

#### 7.4. ANEXO 4: El hidrógeno en el transporte

El hidrógeno<sup>192</sup> es uno de los combustibles alternativos para el transporte previstos por la Unión Europea para su desarrollo futuro, dado que ofrece grandes expectativas como energía alternativa en el transporte para la mejora de eficiencia, la reducción de la dependencia del petróleo y de las emisiones de gases de efecto invernadero y otras emisiones contaminantes. Puede, además, ser producido a partir de un amplio número de fuentes de energía, que abarcan desde las fósiles: carbón, petróleo y gas natural, hasta las microbiológicas, pasando por la nuclear y las renovables: biomasa, eólica o solar, mediante un buen número de tecnologías de proceso, térmicas y/o eléctricas de las de se ha acumulado una considerable experiencia.

Actualmente, se producen millones de toneladas de hidrógeno a nivel mundial (unas 250.000 sólo en España), que se utilizan de forma segura, principalmente en el refinado de petróleo y en la industria química.

Se ha acumulado igualmente mucha experiencia en el transporte, por tubería, en cisternas o como líquido criogénico y en seguridad. Sin embargo, si el consumo se extendiese al transporte, la distribución y almacenamiento, en particular a bordo del vehículo, presenta considerables retos tecnológicos, en términos de coste y de seguridad.

De los distintos procesos de producción de hidrógeno (tabla siguiente), tanto el reformado con vapor de gas natural como la gasificación de carbón son tecnologías maduras en las que caben pocas mejoras, no así en el caso de la electrolisis del agua, tecnología en la que se esperan mejoras de hasta un 40%.

**TABLA 79. Costes de producción de hidrógeno mediante distintas tecnologías**

	Proceso	Coste de producción de H <sub>2</sub> (€/kg)
<b>Producción centralizada</b>	Reformado con vapor de GN <sup>(1)</sup>	1,2
	Electrolisis agua	3,7
	Gasificación de carbón <sup>(2)</sup>	1,3
	Gasificación de biomasa	2,1
<b>Producción distribuida</b>	Reformado con vapor de GN	2,5
	Electrolisis de agua	3,7

Fuente: elaboración propia a partir de (Comisión Europea, 2006).

Nota 1: Coste de producción para una planta 1.000 t/día y precio del gas natural de 6 \$/MBTU.

Nota 2: Coste de producción para una planta de 1.000 t/día y precio del carbón de 80 \$/t.

La producción puede tener lugar de forma centralizada seguida por la distribución del hidrógeno por tubería o en camión, a presión o en fase líquida, en pequeñas unidades próximas al punto de distribución. La reducción de la escala de la producción resulta factible para el reformado de gas natural y para la electrolisis de agua, pero sólo para esta última los costes de producción no resultan afectados. La

<sup>192</sup> Texto según documento interno de trabajo y referenciado como (Bravo, M., 2017).

estrategia a aplicar dependerá de la distancia a transportar, ya que los costes de transporte pueden resultar significativos

El hidrógeno por sus características termofísicas es difícil de almacenar y transportar, bien sea a presión o como líquido criogénico. Su poder calorífico (120 MJ/kg) es tres veces superior al de la gasolina (43 MJ/kg). Sin embargo, en base volumétrica la situación es la contraria (8 MJ/l en forma líquida frente a 32 MJ/l).

La energía necesaria para su compresión a 350 kg/cm<sup>2</sup> puede alcanzar, dependiendo de la presión inicial, hasta un 8% de su contenido energético y un 30% para su licuación. El transporte por tubería es intensivo en energía y capital; si se compara con el gas natural, requiere, para la misma cantidad de energía, mayores presiones y materiales más costosos. El coste de transporte, distribución y suministro a vehículos a distancias de unos 50 km del punto de producción está en el rango de 14 a 18 €/GJ (1,7 a 2,1 €/kg)<sup>193</sup> muy próximos al de producción a pequeña escala. A mayores distancias los costes resultan superiores a 25 €/GJ (3 €/kg)<sup>194</sup>.

Por ello, la utilización en el transporte ha de estar ligada a procesos de conversión en energía mecánica muy eficientes, como a través de la generación y la tracción eléctrica, que aportan los vehículos con pilas de combustible.

Los vehículos con pila de combustible (*fuel-cell electric vehicle* o FCEV por sus siglas en inglés) son vehículos eléctricos en los que la energía eléctrica es proporcionada por una pila de combustible (*fuel-cell* o FC por sus siglas en inglés) alimentada por hidrógeno, que se almacena en el vehículo. Los FCEV están configurados como híbridos y utilizan una batería para la captura de la energía en el frenado y para apoyar la energía proveniente de la FC siempre que sea necesario. Un sistema de electrónica de potencia gestiona el flujo de energía de la FC, de y hacia la batería y al motor eléctrico.

Una pila de combustible consiste en un paquete de celdas electroquímicas con ánodos en los que el hidrógeno en fase gaseosa se ioniza y migra hacia el cátodo donde se oxida con el oxígeno del aire, generando así una corriente eléctrica. De esta forma, y a diferencia del motor de combustión interna, se pueden alcanzar, actualmente, eficiencias de recuperación de energía superiores al 60%, y se plantean objetivos de I+D para obtener rendimientos del 70% o superiores. El conjunto formado por la pila de combustible y el equipo auxiliar que controla los flujos de hidrógeno y oxígeno y la gestión térmica se conoce como el *Balance of Power* (BoP)

Las pilas de combustible usadas en automoción son del tipo PEM (polymer-electrolyte membrane/proton-exchange membrane). La pila PEM opera a temperatura moderada (80°C) y se adecua a las características de operación requeridas por la industria del automóvil, necesita electrodos de platino para

<sup>193</sup> (Comisión Europea, 2006)

<sup>194</sup> Como referencia: el coste actual de distribución de combustibles es de 0,19 €/kg.

catalizar la reacción hidrógeno/oxígeno y utiliza un electrolito sólido polimérico, permeable a los protones, que adopta la forma de membrana y que separa ambos electrodos.

La tecnología de este tipo de FC se ha desarrollado lo suficiente en los últimos años para iniciar la comercialización de vehículos, pero aún han de superarse varias barreras para que resulten competitivos.

Por un lado, el coste es todavía elevado. Ello se debe al coste de los materiales de electrodos y membrana. Aunque se han reducido de 124\$/kW en 2006 a 55\$/kW, resultan todavía elevados para competir con los motores de combustión interna

En cuanto a la eficiencia, el rendimiento de los materiales, en particular de los electrodos membrana, permite la reducción del tamaño (lo que afecta directamente al coste), y por otro lado al consumo. Debe alcanzarse una óptima utilización de metales del grupo del platino, mejorar la eficiencia de los catalizadores y electrodos, y aumentar la eficiencia de la membrana en condiciones de operación próximos a la máxima demanda de potencia

Respecto a la durabilidad, aunque se han alcanzado niveles de 2.500 horas de operación (equivalentes a unos 100.000 km) en vehículos de carretera, se necesitan conseguir 5.000 horas, lo que requiere aumentar la durabilidad de los catalizadores y electrodos y membranas, que todavía no son capaces de alcanzar estas 5.000 horas. También es necesario mejorar la tolerancia de la pila a los ciclos de operación del automóvil.

Aunque se han alcanzado considerables mejoras en estos aspectos en los últimos diez años se requieren adicionales esfuerzos en I+D para conseguir que los vehículos con FC sean completamente competitivos frente a los actuales.

**TABLA 80. Características de las pilas de combustible: situación actual y objetivo a alcanzar**

Característica	Situación actual	Objetivo
Eficiencia	60%	70%
Densidad de potencia	640 W/l	850 W/l
Potencia específica	659 W/kg	650 W/kg
Catalizador: potencia específica	6,0 kW/g <sub>MGP</sub>	>8,0 kW/g <sub>MGP</sub>
Coste	55\$/kW	30\$/kW
Durabilidad en operación	2500 horas	5000horas

Fuente: (DOE, 2015).

Nota: MGP significa metales del grupo del platino.

Revisados los aspectos relacionados con la producción y transporte de hidrógeno y las características de las pilas de combustible, un último e importante elemento a considerar es el almacenamiento del hidrógeno en el vehículo, dado que la relación

coste/capacidad afecta en gran medida a la viabilidad económica de los vehículos con pila de combustible.

La tecnología de almacenamiento de hidrógeno en el vehículo se basa en el almacenamiento en fase gaseosa entre 350 bares y 700 bares de presión nominal. Los almacenamientos de hidrógeno a presión se han certificado y utilizado en cientos de vehículos prototipo con pilas de combustible disponibles comercialmente. Tanques metálicos y no metálicos reforzados con fibra de carbono proporcionan la suficiente resistencia mecánica y el peso adecuado para vehículos ligeros. Las proyecciones actuales de coste para un tanque de 700 bares, capaz de proporcionar 5,6 kg de H<sub>2</sub> a la pila de combustible (500 km de autonomía) de un vehículo ligero, está en el rango de 2.800 \$, si se produce en cantidades superiores a 500.000 unidades/año<sup>195</sup>. Dado que la densidad energética es de 0,04 kg H<sub>2</sub>/l el volumen requerido es de unas tres a cuatro veces del volumen del tanque de gasolina equivalente. Por tanto, para proporcionar al menos 500 km de autonomía, sin reducir el espacio disponible para los pasajeros, se necesita avanzar en el desarrollo de sistemas con mayor densidad energética.

Los sistemas avanzados de almacenamiento a temperaturas inferiores al ambiente, hasta 150°K o criogénicos <150°K ofrecen la posibilidad de aumentar la densidad energética del sistema. Se han diseñado tanques criogénicos para aplicaciones espaciales y tanques con pérdidas por evaporación inferiores al 1,5 % se han probado en vehículos e igualmente se han construido estaciones de llenado de hidrógeno líquido. El hidrógeno líquido no obstante, presenta el inconveniente del elevado coste energético necesario para la licuefacción.

Los tanques criogénicos por su baja presión de operación, construidos con materiales compuestos de alto rendimiento, permiten alcanzar densidades de almacenamiento similares a los convencionales y cumplir los requerimientos ambientales y de seguridad del vehículo y ofrecer sistemas eficientes en coste para el desarrollo de vehículos con pila de combustible

Otros sistemas avanzados de almacenamiento basados en materiales están en desarrollo para su aplicación en vehículos, entre los cuales destacan la adsorción en sólidos porosos y los hidruros metálicos.

La adsorción en materiales porosos tiene la ventaja de que permite alcanzar densidades relativamente elevadas a presiones inferiores a 100 bares con alta seguridad y flexibilidad de operación; presentan sin embargo, la desventaja de coste, el peso y la dificultad en la gestión de los efectos térmicos asociados.

---

<sup>195</sup> (DOE, 2013).

Dentro de este tipo de materiales con alta superficie específica se incluyen materiales de carbono, tales como los carbones activos, nanotubos y nanofibras, o los MOFs (Metal Organic Frameworks)<sup>196</sup>

Los hidruros metálicos reversibles ofrecen una tecnología de almacenamiento adecuada por ser la base de las baterías de níquel-metal hydride, pero las aleaciones convencionales resultan ser pesadas y caras para su utilización en vehículos ligeros

Se han identificado otros materiales con propiedades interesantes para el almacenamiento, aunque ninguno de ellos cumple todos los objetivos requeridos.

En resumen, los vehículos con pilas de combustible ofrecen la posibilidad de reducir de forma significativa las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte, pero para ello es necesario superar los obstáculos tecnológicos, que se han ido señalando anteriormente, y que giran alrededor de los puntos siguientes.

En primer lugar, el desarrollo de una nueva infraestructura de producción, transporte y distribución que necesita, todavía a día de hoy, la resolución de grandes retos en coste, consumo energético y seguridad.

Un segundo punto se refiere a la reducción del peso y coste de las pilas de combustible aumentando, al mismo tiempo, su estabilidad frente a los ciclos de conducción de los vehículos.

En tercer lugar hay que lograr el desarrollo de sistemas de almacenamiento de hidrógeno en el vehículo con alta intensidad energética, que faciliten autonomías de al menos 500 km o superiores, y que no limiten el espacio útil disponible para los pasajeros y mantengan al mismo tiempo los estándares actuales de seguridad.

Si bien es cierto que se han producido grandes avances en lo que respecta a estos retos en los últimos diez años, y que se están realizando grandes esfuerzos en I+D, tanto en Europa como en Estados Unidos, está por ver la continuidad de estos avances. En cualquier caso, los retos son de tal magnitud que es previsible que la competitividad de los vehículos con pila de combustible frente a los híbridos convencionales no se vislumbre a medio plazo.

De hecho, un gran fabricante de híbridos convencionales como es Toyota<sup>197</sup>, apuesta por los vehículos de pila de combustible como gran alternativa a largo plazo, pretendiendo multiplicar por diez su producción de 2017 a 2020, aunque existen dificultades como la cuestión de las infraestructuras o la reducción de costes. Esto no quita, sin embargo, que la compañía busque tecnologías más allá de los híbridos convencionales, como el nuevo Prius enchufable, considerándolo la mejor

---

<sup>196</sup> (Tzimas et al., 2003).

<sup>197</sup> Su modelo Mirai alcanza los 550 kilómetros de autonomía, empleando dos depósitos de hidrógeno y un motor eléctrico. Su producción a finales de 2016 ha sufrido un problema de *software* sin incidentes pero que ha obligado a una revisión de 2.800 unidades, lo que preocupa en cuanto a la percepción de la tecnología (Inagaki, 2017).

alternativa a corto plazo hasta que la infraestructura para el hidrógeno se desarrolle (Inagaki, 2017).

Toyota también fabrica el Toyota Mirai que emplea una pila de combustible que genera energía a partir del hidrógeno. Sin embargo, este proyecto se enfrenta a retos como el desarrollo de una infraestructura de recarga y a una fuente de hidrógeno libre de emisiones de carbono. Ya se han vendido 2.800 vehículos desde su lanzamiento en 2014, la mayoría de los cuales han sido adquiridos por compañías japonesas y de EEUU y usuarios privados con acceso a infraestructuras de recarga. En Europa, los primeros adquirentes son Organismos Públicos (Harding e Inagaki, 2017).

## 7.5. ANEXO 5: Supuestos e hipótesis para el cálculo de las emisiones STW

Las emisiones STW que se muestran en el capítulo 4 se han obtenido a raíz del cálculo de los parámetros *System-to-Wheel*, STT, al que posteriormente se añade el TTW.

$$STT + TTW = STW$$

Dichos valores STT se han obtenido a partir de los consumos de energía en MJ. Por tanto, para su conversión a mg/km, tal como se utilizan en los cálculos, es necesario tener en cuenta las características de las energías aquí empleadas, como sigue:

**TABLA 81. Características de las energías empleadas en las conversiones**

	PCI (MJ/kg)	Densidad (kg/l)
<b>GN</b>	49	0,45 (GNL) / 0,170 a 200 bar (GNC)
<b>GLP</b>	46	0,54
<b>Diésel</b>	42,6	0,84
<b>Gasolina</b>	44	0,75

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, se muestran aquí emisiones TTW y WTW que suponen valores calculados de manera alternativa a los del JRC, y que si bien no se utilizan en los cálculos del capítulo 5, suponen cifras de orden que enriquecen la perspectiva.

Las emisiones globales del sistema energético las da el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente, en base a datos medios de consumo energético en las refinerías y de gas natural. A partir de ahí, se ha de considerar el método de producción y/o transporte de cada una de las formas de energía. Asimismo, el Ministerio aporta factores de emisión de contaminantes a Agencia Europea de Medioambiente, como los que se han utilizado para contraste del Inventario de Emisiones según los Techos Nacionales de Emisión (MAGRAMA, 2015).

Otra fuente importante de referencia ha sido la de los Inventarios de Emisión de Contaminantes del Aire (EMEP/EEA, 2016).

En primer lugar, el diésel y la gasolina se obtienen en refinería a partir del crudo tras su entrada al sistema español. Su transporte desde la refinería, así como el proceso de refino, implican el proceso STT. Si antes de la entrada al sistema se consideran los consumos y emisiones para la producción de crudo y entre el pozo de extracción del crudo y su traslado hasta España, se obtiene el proceso WTS. Estos valores han sido obtenidos del estudio del JRC, considerando que el traslado del crudo hasta España ha sido mediante barco mediante el consumo de *bunker marino*.



**TABLA 82. Consumo y emisiones STT y WTS para los combustibles convencionales**

	TTW	STT	WTS	STW	WTW
<b>Energía (MJ/MJ<sub>consumido</sub>)</b>	1	0,106	0,08	1,106	1,186
<b>Emisiones (gCO<sub>2</sub>/MJ<sub>consumido</sub>)</b>	70,4	7	5,7	77,4	83,1
<b>Consumo MJ/km</b>	2,11	0,224	0,169	2,334	2,503
<b>Emisiones (gCO<sub>2</sub>/km)</b>	156	14,8	12,0	170,8	182,8
<b>Emisiones (mgNO<sub>x</sub>/MJ<sub>consumido</sub>)</b>	1	6,3	19,3		
<b>Emisiones (mgNO<sub>x</sub>/km)</b>	80	13,3	40,7	93,3	134
<b>Emisiones (mgPM/MJ<sub>consumido</sub>)</b>	1	0,09	1,4		
<b>Emisiones (mgPM/km)</b>		0,19	3	5,19	8,2

Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014), (MAGRAMA; 2015) y (EMEP/EEA, 2016).

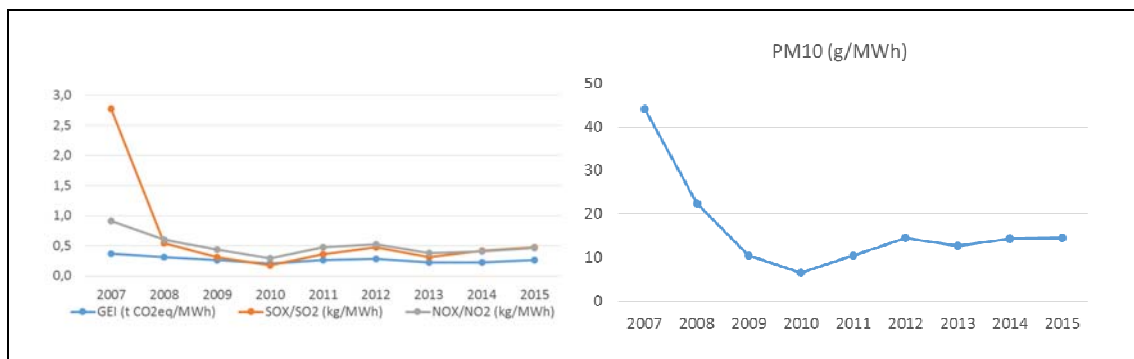
Respecto al vehículo eléctrico, sus emisiones STT son las mismas que sus emisiones STW (recuérdese que sus emisiones *in situ*, es decir, TTW, son cero). Éstas han sido obtenidas de REE y del Ministerio de Agricultura de España, tomándose para ello los valores promedios de los tres últimos ejercicios (años 2013, 2014 y 2015), de cara a evitar la influencia de la estacionalidad en la generación.

**TABLA 83. Consumo y emisiones STT y WTS para el sistema eléctrico español**

	TTW	STT	WTS	STW	WTT
<b>Emisiones gCO<sub>2</sub>/kWh</b>		307,3	33,9		341,2
<b>Emisiones (gCO<sub>2</sub>/km)</b>	0	49	6,10	49	55,1
<b>Emisiones NO<sub>x</sub> mg/kwh</b>		527,6	17		544,6
<b>Emisiones (mgNO<sub>x</sub>/km)</b>	0	86	3,0	86	89
<b>Emisiones (mgPM<sub>2,5</sub>/kWh)</b>		36,3	3,9	36,3	40,1
<b>Emisiones (mgPM<sub>2,5</sub>/km)</b>	0	2,9	0,7	2,9	3,6

Fuente: elaboración propia a partir de (REE, 2016), (MAGRAMA; 2015), (MAGRAMA, 2016), (Enagás; 2015) y (EMEP/EEA, 2016).

Se puede ver una evolución de este tipo de emisiones en el siguiente gráfico.

**GRÁFICO 49. Evolución de las emisiones de CO<sub>2eq</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas del sistema eléctrico español peninsular**

Fuente: elaboración propia a partir de (REE, 2017) y (MAPAMA, 2017).

Para el WTS del sistema eléctrico, se han considerado las emisiones WTS del carbón y el gas natural. Las del carbón son de la siguiente manera.

**TABLA 84. Consumo y emisiones STT y WTS para el carbón**

	STT	WTS
Energía (tep)	0,0124	0,05
Emisiones (tCO <sub>2</sub> /tep <sub>c</sub> )	0,0479	0,19
Emisiones NO <sub>x</sub> (g/tep <sub>c</sub> )	108	437
Emisiones PM <sub>10</sub> (mg/tep <sub>c</sub> )	12	47

Fuente: elaboración propia a partir de (MAGRAMA, 2015) y (EMEP/EEA, 2016).

Adicionalmente, en el sistema eléctrico también se han considerado las siguientes propiedades, consumos y emisiones para el gas natural, en lo relativo a su uso en generación. Estos datos, a su vez, constituyen la base para el cálculo del STT y el WTS del gas natural. Teniendo en cuenta que su uso en vehículos es como GNC, en este estudio se ha considerado una compresión desde 4,0 estándar de red europeo hasta 200 bares mediante una compresión en 4 etapas, accionado por un motor eléctrico y con un rendimiento isentrópico del 70%.

En relación a las pérdidas del conjunto del sistema empleado para el abastecimiento de gas natural vehicular, Delgado y Muncrief (2015)<sup>198</sup> han realizado una recolección de valores desde la producción hasta el uso del vehículo, según distintas fuentes, en especial aquellos ofrecidos por la EPA estadounidense<sup>199</sup>, como son pérdidas de un 0,49% en la producción, 0,18% en el procesado, 0,42% en el transporte y 0,46% en la distribución. Otra fuente considerada ha sido el Informe Anual de Enagás 2015<sup>200</sup>.

**TABLA 85. Consumo y emisiones STT y WTS para el gas natural**

	TTW	STT	WTS	STW	WTW
Energía (MJ/MJ <sub>consumido</sub> )	1	0,0614	0,124	1,06	1,18
Emisiones (gCO <sub>2</sub> /MJ <sub>consumido</sub> )	55,1	3,383	10,63	58,5	69
Emisiones (gCO <sub>2</sub> /km)	113	5,3508	20,8348	118,35	139,1
Emisiones (mgNO <sub>x</sub> /MJ <sub>consumido</sub> )		3,36	8,44		
Emisiones (mgNO <sub>x</sub> /km)	50	6,5856	16,54	56,6	73,13
Emisiones (mgPM/MJ <sub>consumido</sub> )		0,226	0,12		
Emisiones (mgPM/km)	1	0,44296	0,2352	1,44	1,68

Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b), (MAGRAMA; 2015), (Enagás; 2015) y (EMEP/EEA, 2016).

<sup>198</sup> Aunque el trabajo está realizado para vehículos pesados, los porcentajes recogidos en el mismo se han considerado como válidos en cuanto a producción e instalaciones.

<sup>199</sup> Otras fuentes del trabajo indican pérdidas del 0,03-0,08% del volumen diario en el almacenamiento de la estación de suministro y del orden de 0,3% en el compresor y en el repostaje.

<sup>200</sup> La huella de carbono de Enagás, operador del sistema, se calcula anualmente y es verificado por un tercero. Por ello dos fuentes que se tratan en el estudio son la Huella de Carbono 2016 de Enagás (Enagás, 2016) y la Declaración Ambiental de Saggas (Saggas, 2015), ambas fuentes públicas.

En lo relativo al GLP, hay una consideración importante a la hora de evaluar el sistema energético español. Los datos de consumo y emisiones de los vehículos a GLP (TTW) que se han considerado en este trabajo provienen del informe del JRC, que sin embargo difiere en origen con el GLP normalmente consumido en España, por lo que esto se ha de tener en cuenta a la hora de calcular las emisiones del sistema. El JRC considera que el GLP se separa en el pozo, mientras que en España el GLP viaja con el crudo y se produce en refinería, y es transportado hasta los puntos de suministro por carretera

**TABLA 86. Consumo y emisiones STT y WTS para el GLP**

	TTW	STT	WTS	STW	WTW
<b>Energía (MJ/MJ<sub>consumido</sub>)</b>	1	0,0264	0,08	1,0264	1,1064
<b>Emisiones (gCO<sub>2</sub>/MJ<sub>consumido</sub>)</b>	63	1,542	5,7	64,5	70,2
<b>Emisiones (gCO<sub>2</sub>/km)</b>	127	2,99	11,04	130	141,04
<b>Emisiones (mgNO<sub>x</sub>/MJ<sub>consumido</sub>)</b>		1,21	19,36		
<b>Emisiones (mgNO<sub>x</sub>/km)</b>	50	2,34	37,5104	52,34	89,8
<b>Emisiones (mgPM/MJ<sub>consumido</sub>)</b>		0,09	1,3		
<b>Emisiones (mgPM/km)</b>	1	0,174	2,52	1,174	1,7

Fuente: elaboración propia a partir de (Edwards et al., 2014b), (MAGRAMA; 2015), (Enagás; 2015) y (EMEP/EEA, 2016).

## 7.6. ANEXO 6: Tablas de desplazamientos

A continuación se presentan unas tablas en las que se recoge el número de viajes diarios entre comarcas de la CAPV. En sombreado se encuentran aquellos casos seleccionados y analizados en este estudio.

**TABLA 87. Desplazamientos con destino comarcas de Álava**

Origen/Destino	Cantábrica Alavesa	Estribaciones del Gorbea	Vitoria-Gasteiz	Llanada Alavesa	Montaña Alavesa	Rioja Alavesa	Valles Alaveses
Cantábrica Alavesa	68.259	274	2.168	78			67
Estribaciones del Gorbea	288	8.072	6.580	100	206		87
Vitoria-Gasteiz	2.148	6.352	<b>659.280</b>	16.088	2.604	1.231	2.334
Llanada Alavesa	78	138	15.992	24.392	115		407
Montaña Alavesa		206	2.691	90	5.371	192	22
Rioja Alavesa			1.270		192	16.353	183
Valles Alaveses	67	116	2.296	398	22	183	6.227
Arratia-Nervión	4.264	605	1.630				
Duranguesado	725	182	1.575			106	
Encartaciones	897		864		56		
Gernika-Bermeo	1.126		1.522	56			
Bilbao	4.848	464	<b>8.376</b>		97	311	92
Gran Bilbao	5.082	95	<b>6.129</b>	<b>78</b>			34
Markina-Ondarroa			85				120
Plentzia-Mungia	355		554				
Alto Deba		944	6.439	232	322		
Bajo Bidasoa							
Bajo Deba			481				
Donostia-San Sebastián	1.297	79	2.755	144		90	
Donostialdea			241	47			
Goierni			1.074	72		247	
Tolosaldea	618	26		393			
Urola Costa			2.651				

Fuente: reelaborado a partir (Gobierno Vasco, 2012).

Casos seleccionados

**TABLA 88. Desplazamientos con destino comarcas de Bizkaia**

Origen/Destino	Arratia-Nervi3n	Duranguesado	Encartaciones	Gernika-Bermeo	Bilbao	Gran Bilbao	Markina-Ondarroa	Plentzia-Mungia
Cant3brica Alavesa	4.356	725	804	1.126	4.341	5.116		355
Estribaciones del Gorbea	579	182			464	95		
Vitoria-Gasteiz	1.564	1.575	735	653	<b>8.371</b>	<b>7.379</b>	203	554
Llanada Alavesa				56	<b>160</b>	<b>78</b>		
Monta3a Alavesa					97			117
Rioja Alavesa		514			311			
Valles Alaveses					92	34	120	
Arratia-Nervi3n	31.721	3.350		291	4.814	5.285		194
Duranguesado	3.350	<b>191.595</b>		2.850	15.472	14.993	1.409	2.019
Encartaciones			56.258	225	7.469	8.290		191
Gernika-Bermeo	291	2.498	225	92.002	8.133	5.552	983	2.783
Bilbao	4.570	15.199	7.294	8.106	<b>887.013</b>	177.127	2.518	<b>17.856</b>
Gran Bilbao	5.073	16.193	8.939	6.827	174.158	<b>1.049.595</b>	663	<b>27.639</b>
Markina-Ondarroa		1.187		848	2.180	1.074	53.530	
Plentzia-Mungia	194	2.019	191	2.960	<b>18.334</b>	<b>26.953</b>		74.855
Alto Deba	184	4.381	234		549	1.832	534	
Bajo Bidasoa					148			
Bajo Deba	211	9.023		118	982	687	2.378	269
Donostia-San Sebasti3n	92	1.060	125		<b>5.808</b>	<b>3.736</b>	356	360
Donostialdea		201			<b>133</b>	<b>1.111</b>	109	
Goierri		503			1.599	2.113		
Tolosaldea						242		
Urola Costa	350	937			817	452	432	119

Fuente: reelaborado a partir (Gobierno Vasco, 2012).

Casos seleccionados

**TABLA 89. Desplazamientos con destino comarcas de Gipuzkoa**

Origen/ Destino	Alto Deba	Bajo Bidasoa	Bajo Deba	Donostia- San Sebastián	Donostialdea	Goierri	Tolosal- deia	Urola Costa
Cantábrica Alavesa				1.297			618	
Estribaciones del Gorbea	828		79				26	
Vitoria-Gasteiz	6.555		328	1.717	288	1.437		2.299
Llanada Alavesa	232			144		72	393	
Montaña Alavesa	322							
Rioja Alavesa				90		247		
Valles Alaveses								
Arratia- Nervión	184		211	224				350
Duranguesado	4.381		9.148	905	201	155		1.148
Encartaciones	234			125				
Gernika- Bermeo			118					
Bilbao	549	148	1.519	<b>6.099</b>	<b>295</b>	1.427		817
Gran Bilbao	1.832		444	<b>4.251</b>	<b>1.111</b>	2.113	112	323
Markina- Ondarroa	555		2.378	356	109			302
Plentzia- Mungía			269					119
Alto Deba	<b>155.473</b>		3.548	3.135	289	5.436	274	2.068
Bajo Bidasoa		<b>183.687</b>	103	17.008	10.706	158	1.412	619
Bajo Deba	3.309	103	<b>118.330</b>	2.514	474	629	128	2.970
Donostia-San Sebastián	3.275	16.154	2.348	<b>491.719</b>	76.438	6.368	10.798	10.562
Donostialdea	472	11.052	474	75.481	<b>256.860</b>	2.670	5.997	3.020
Goierri	4.886	158	786	5.116	4.246	<b>151.360</b>	9.528	2.439
Tolosaldea	387	1.412	128	10.536	6.400	9.771	88.382	1.477
Urola Costa	2.414	619	2.788	10.805	2.944	2.648	1.641	<b>169.811</b>

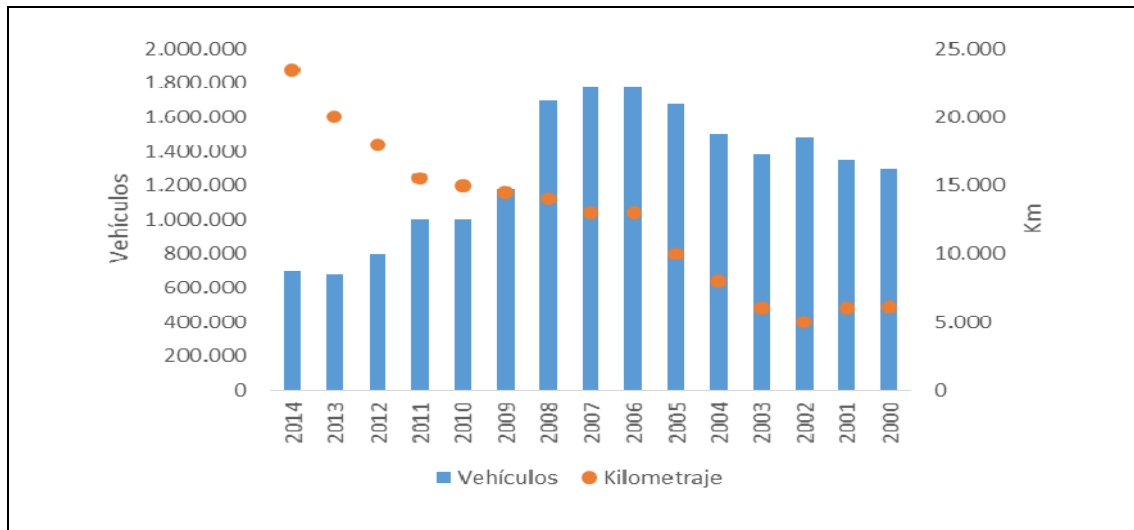
Fuente: reelaborado a partir (Gobierno Vasco, 2012).

Casos seleccionados

## 7.7. ANEXO 7: Hipótesis y parámetros adicionales

En el siguiente gráfico se puede ver la evolución del kilometraje medio anual de los vehículos matriculados en España entre los años 2000 y 2014, apreciándose que la media disminuye a medida que aumenta la antigüedad del coche.

**GRÁFICO 50. Evolución de kilometraje medio anual de los vehículos matriculados en España (2000-2014)**



Fuente: elaboración propia gracias a la cortesía de (FACONAUTO, 2016).

Nota 1: El número de vehículos se mide en el eje de la derecha y el kilometraje medio en el de la izquierda.

Nota 2: Según Audatex, en 2014 se confirmaba que los vehículos de menos de cinco años de antigüedad son los que presentan mayor kilometraje anual, con una media de 18.500 km/año (Audatex, 2014). Según el Observatorio del Vehículo de Empresa (CVO) de Arval, el kilometraje anual medio de los vehículos de empresa era de 21.378 km/año en 2014 (Europa Press, 2014).

La sustitución del parque de vehículos debe ir acompañada del correcto desarrollo de infraestructuras para el suministro de los nuevos combustibles introducidos. Para la instalación de estas infraestructuras se han considerado los planes en la Estrategia de Impulso del Vehículo con Energías Alternativas (VEA) en España (2014-2020).

**TABLA 90. Datos de instalación de infraestructuras empleados en el cálculo de hipótesis**

Instalación	Puntos de recarga del vehículo eléctrico	Estaciones de GNC	Estaciones de GLP	Estaciones de GLP
Más de 1.000.000 de habitantes	1 punto de recarga lenta vinculada por vehículo y 100 puntos de recarga rápida	10	3	En función del número de automóviles (119 en total para toda la CAPV frente a los 28 existentes)
Más de 200.000 habitantes	1 punto de recarga lenta vinculada por vehículo y 20 puntos de recarga rápida	2	2	
Más de 100.000 habitantes	1 punto de recarga lenta vinculada por vehículo y 10 puntos de recarga rápida	1	1	

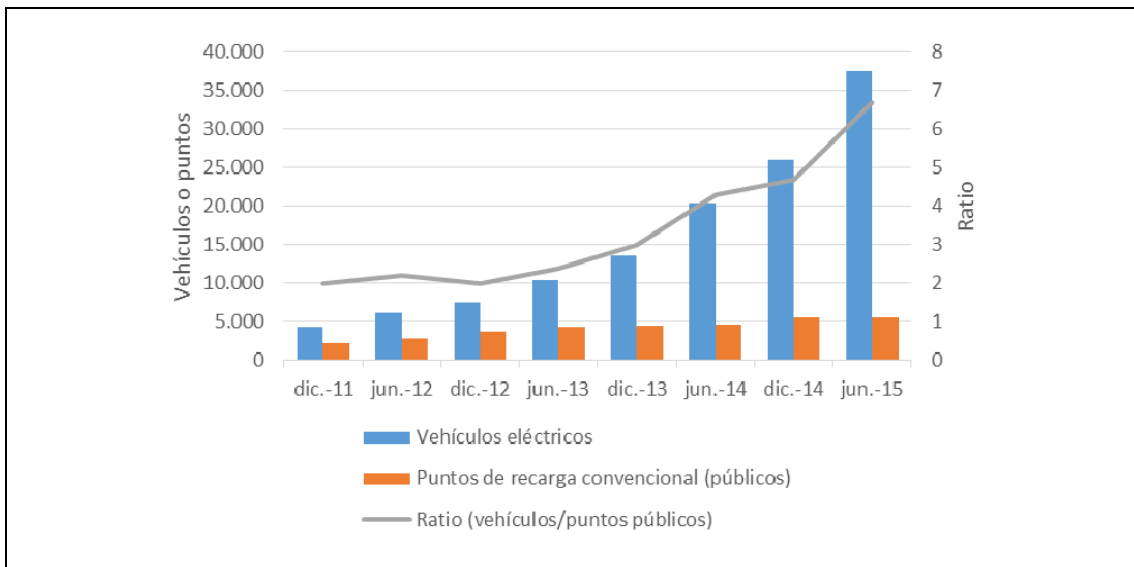
Fuente: elaboración propia.

Nota1: En el caso del GLP, la Estrategia de Impulso del VEA no establece parámetros de introducción, sino objetivos a alcanzar. Dado que el GLP tenía en 2015 una relación vehículos/suministro en la CAPV proporcional a la de España, de mantenerse esta, la CAPV debería alcanzar 48 puntos de suministro en todo su territorio. Para aplicar esto a las rutas se hará en función del número de automóviles.

Nota2: En cuanto al parámetro de distancias en carretera, ninguna de las rutas contempladas supera las cifras de la Estrategia de Introducción del VEA, salvo entre el Gran Bilbao y Donostialdea.

En el caso de la carga del vehículo eléctrico hay que señalar que, aparte del previsible abaratamiento de los costes de la infraestructura en el medio plazo, un crecimiento lento del número de puntos de carga no implica necesariamente una ralentización del crecimiento del número de unidades, como se ve en el siguiente gráfico. Esto implica que con una inversión menor de la señalada para la ruta estudiada, o bien una instalación lenta, también se puede lograr el impulso al vehículo eléctrico. Esto es debido a que la mayoría de los usuarios pueden preferir la carga del vehículo durante las horas de trabajo o de sueño, mientras la distancia recorrida en el día no supere la de la autonomía del vehículo.

**GRÁFICO 51. Evolución del número de vehículos eléctricos y de puntos de recarga públicos en Alemania**



Fuente: elaboración propia a partir de (NPE, 2015).



## 7.8. ANEXO 8. Resultados adicionales de los casos estudiados

En el apartado 5.3 de este estudio se han planteado varios escenarios con diferentes grados de penetración progresiva de VEA. A modo de recapitulación, se presentan aquí los escenarios analizados.

**TABLA 91. Escenarios para los VEA e Hyb**

Escenarios	Nº	BEV	PHEV	GNC	GLP	Hyb
Superior + Hyb	I	Sup	0	Sup	Base	Base
Superior Plus	II	Sup Plus	0	Sup	Base	0
Intermedio 2 (EV Inf y GNC Sup)	III	Inf	0	Sup	Base	0
Superior	IV	Sup	0	Sup	Base	0
Intermedio 1 (EV Sup y GNC Inf)	V	Sup	0	Inf	Base	0
Inferior	VI	Inf	0	Inf	Base	0
Superior + Hyb + PHEV	VII	Sup	Sup	Sup	Base	Base

Fuente: elaboración propia.

Tras el análisis de todos ellos, se han desarrollado en detalle en el propio apartado, aquellos que se han considerado más relevantes por los resultados obtenidos, esto es el I, el II y el III. En este anexo se presentan los resultados obtenidos en el resto de escenarios.

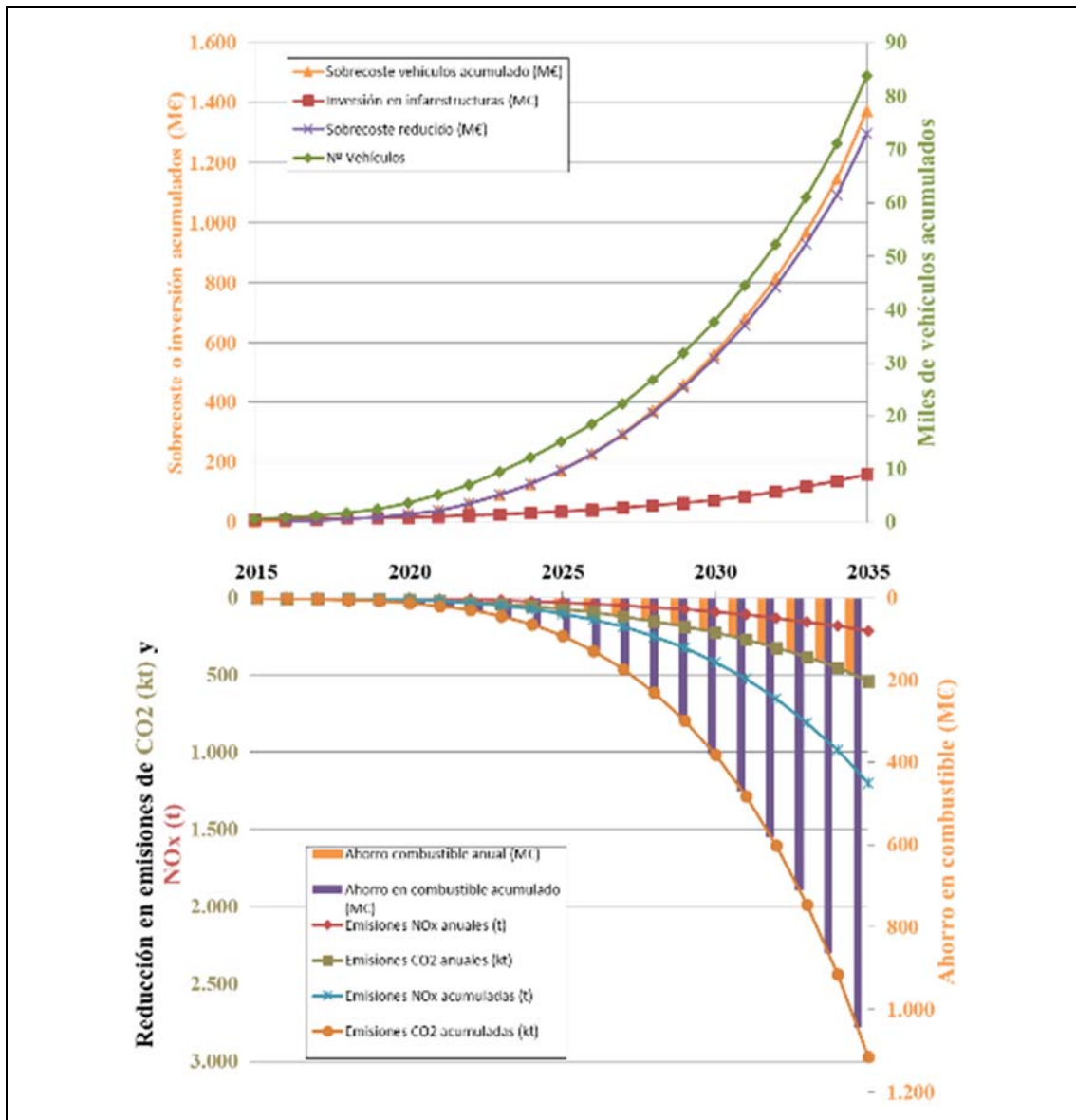
### ***Escenario IV (Superior)***

En este escenario, se observa una penetración progresiva en el tiempo de los diferentes VEA, donde el mayor desarrollo se observa en términos de vehículos eléctricos BEV y de GNC.

Al final del período se han sustituido aproximadamente 83.700 turismos. Como consecuencia, se observa que todavía queda un gran camino para seguir sustituyendo vehículos del parque actual.

Los turismos que se han sustituido habrán supuesto un sobrecoste de 1.300 millones de euros. El ahorro de combustible acumulado en el periodo asciende a 1.043 millones de euros. En este escenario el volumen de reducción de emisiones de partículas es el moderado entre los escenarios considerados. No obstante, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub> y partículas, son superiores al escenario III.

**GRÁFICO 52. Sobrecoste en inversiones frente a número de vehículos. Reducción de emisiones y ahorro de combustibles. Escenario IV**



Fuente: elaboración propia.

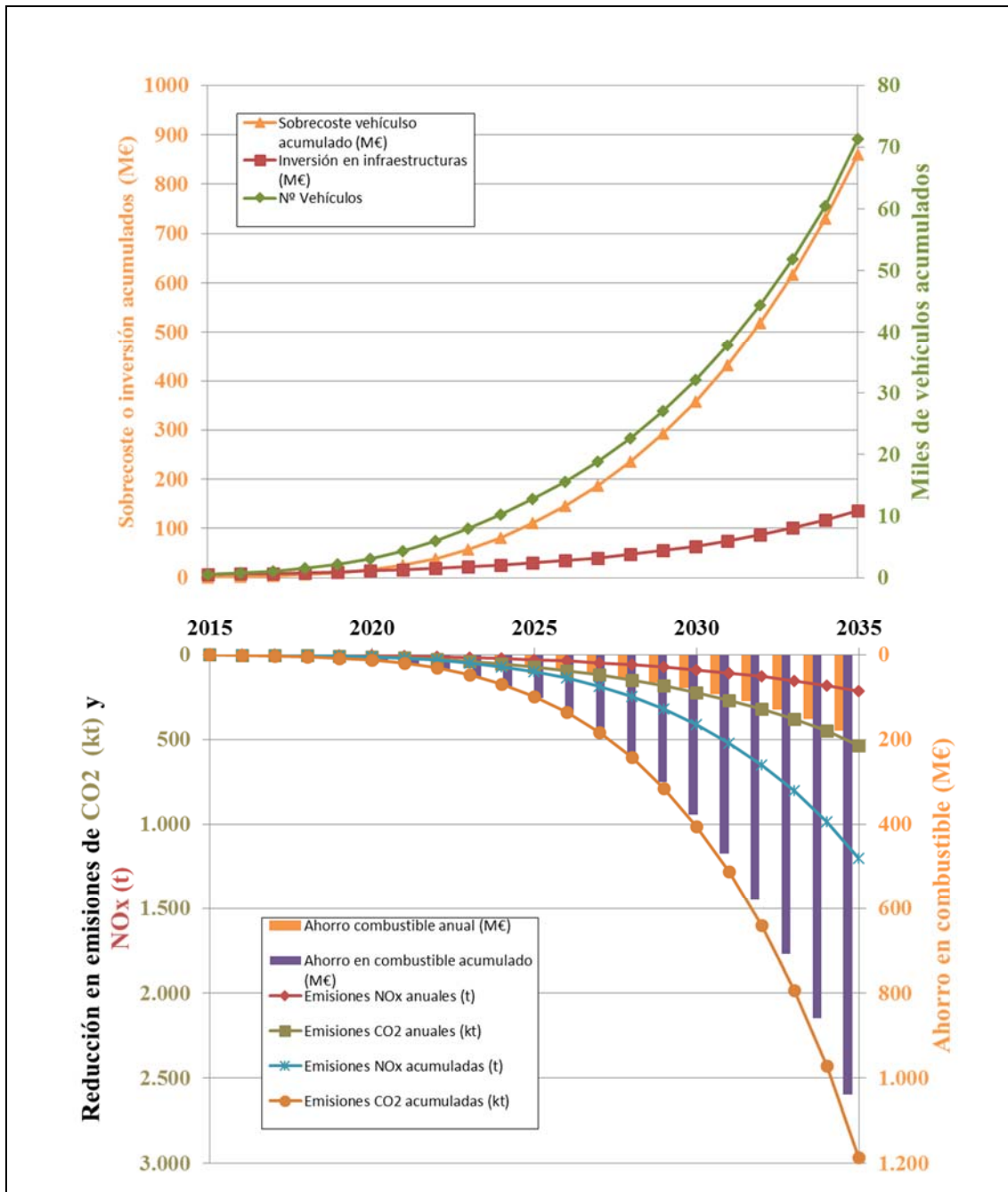
**Escenario V (Intermedio 1, BEV Superior y GNC Inferior)**

En este caso, la principal sustitución se realiza con vehículos eléctricos y en menor medida de gas natural. De igual manera que en el caso anterior, la penetración de los VEA resulta progresiva y más lenta que en otros escenarios, teniéndose al final del período 83.400 vehículos de energías alternativas.

Sí se puede destacar el menor sobrecoste frente al escenario anterior (IV) y la mayor reducción de partículas e igual disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> y de NO<sub>x</sub>. Ello, hace de esta una alternativa más interesante en términos de eficiencia ambiental de la inversión.

Muestra de ello es también el hecho de que la sobre inversión realizada se recupera en apenas cinco años.

**GRÁFICO 53. Sobrecoste en inversiones frente a número de vehículos. Reducción de emisiones y ahorro de combustibles. . Escenario V**



Fuente: elaboración propia.

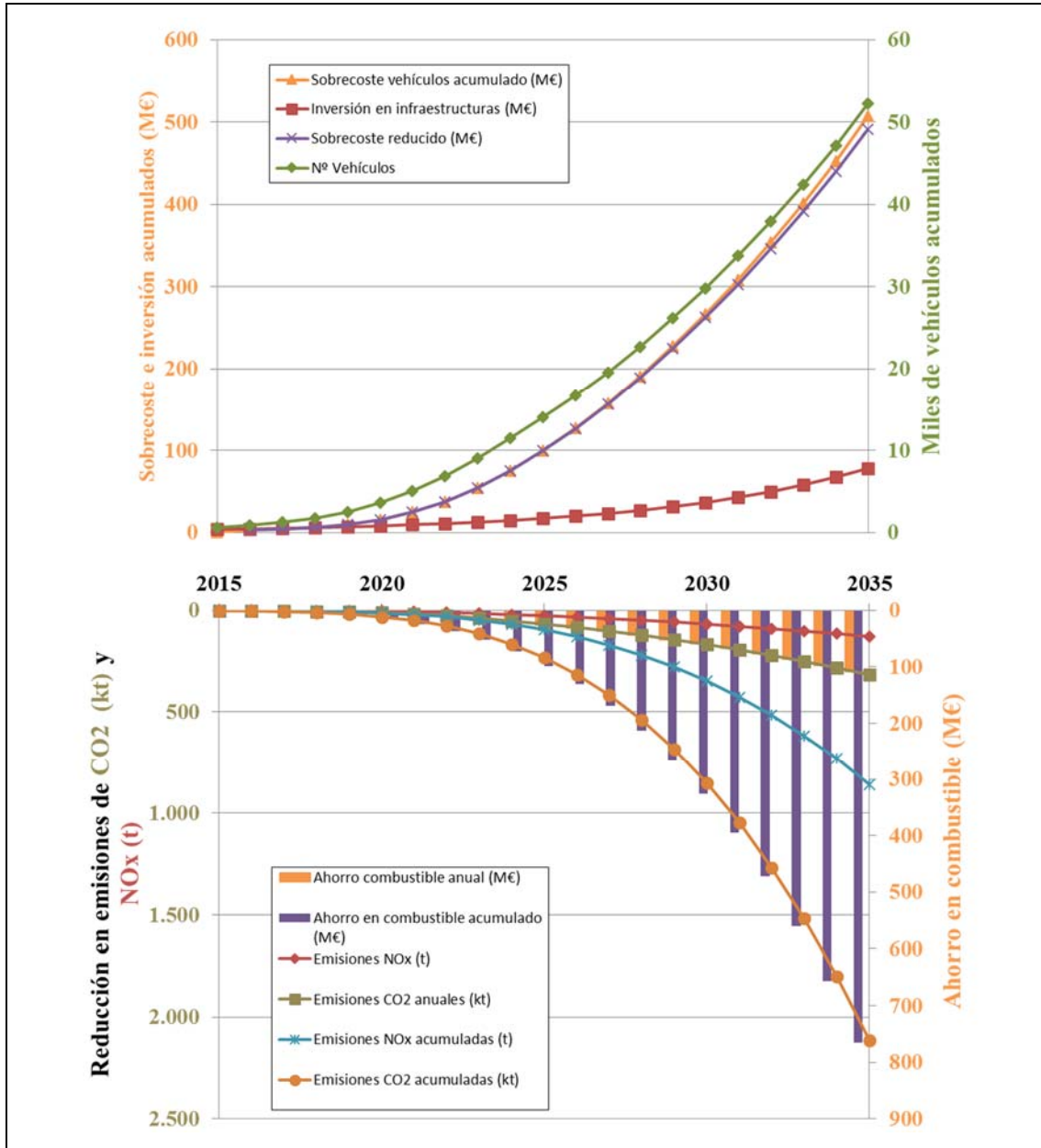
### **Escenario VI (Inferior)**

En este caso, el nivel de penetración de VEA a 2035 es muy reducido si se tiene en cuenta el parque de vehículos actual. Ello se debe a los supuestos considerados, que plantean una penetración reducida de BEV y de GNC.

Sin embargo, la efectividad económica del sobrecoste en que se incurre resulta muy elevada, dado que el nivel de reducción de emisiones de GEI y de contaminantes que se consigue es muy elevada. Hay que tener en cuenta que se trata del escenario con

menor nivel de sobrecoste y donde el ahorro acumulado en términos de combustible resulta ser superior, al final del período al sobrecoste de las inversiones.

**GRÁFICO 54. Sobrecoste en inversiones frente a número de vehículos. Reducción de emisiones y ahorro de combustibles. Escenario VI**



Fuente: elaboración propia.

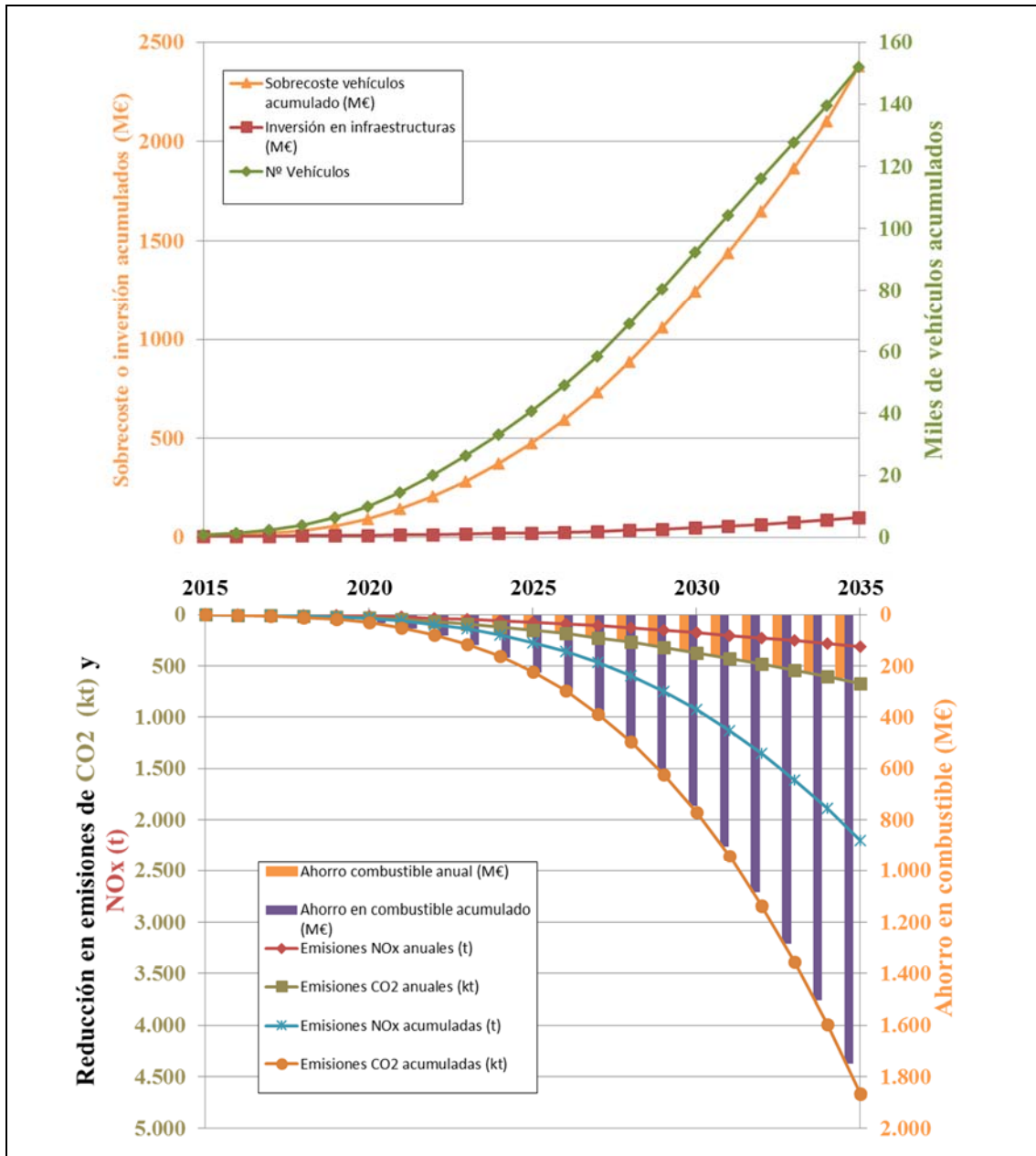
En este caso, la reducción de las emisiones de GEI asciende a 2.114 millones de toneladas, 859 de NO<sub>x</sub> y 97 de partículas.

### **Escenario VII (Inferior + Hyb + PHEV)**

El último escenario analizado plantea una elevada penetración de BEV y de GNC, así como la penetración de PHEV y de Hyb. En este caso se está ante uno de los escenarios con mayor nivel de sustitución de vehículos convencionales por VEA, alcanzando casi los 152.000 turismos de forma acumulada. También se puede decir,

que se está de nuevo ante un escenario con una penetración paulatina de estos nuevos vehículos, es decir, no hay una penetración destacable en una primera o segunda fase, como sucedía en el escenario II.

**GRÁFICO 55. Sobrecoste en inversiones frente a número de vehículos. Reducción de emisiones y ahorro de combustibles. Escenario VII**



Fuente: elaboración propia.

La consideración de esta sustitución lleva a la necesidad de un sobrecoste de la inversión de 2.312 millones de euros, y aunque se consigue un elevado ahorro en combustible, el período de recuperación de la inversión extra realizada alcanza los nueve años. Además, aun cuando logra unas importantes reducciones de las emisiones de GEI y de contaminantes, no se está ante el escenario más eficiente en términos medioambientales por euro invertido.

## 7.9. ANEXO 9: Vehículos de energías alternativas

Respecto a las alternativas tecnológicas vistas en el capítulo 4, hay diversas cuestiones técnicas, algunas de las cuales, relacionadas con el vehículo eléctrico y con el vehículo de gas natural, se recogen a continuación.

### *Vehículo eléctrico*

Como se ha visto en el capítulo 4, el alcance de este tipo de vehículos a nivel tecnológico es variado, en función del grado de electrificación del vehículo, así como del medio empleado para el aporte de electricidad al mecanismo. De esta manera, en primer lugar es posible distinguir entre vehículos eléctricos de batería (generalmente abreviados BEV por sus siglas en inglés) que no requiere del uso de motores de combustión interna, o el vehículo eléctrico híbrido, que utiliza ambos tipos de motores (híbrido y, si su batería se puede conectar a la red eléctrica, híbrido enchufarle o PHEV).

**TABLA 92. Formas de energía utilizadas en cada tipo de vehículo eléctrico (combustión interna y eléctrica)**

	Propulsión		Generación de energía o fuente		
	Motor de combustión interna	Motor eléctrico	Motor de combustión interna	Enchufe	Pila de combustible
ICE					
Híbrido					
PHEV					
REEV	La primacía de uno u otro motor varía en función del modelo				(en pruebas)
BEV					
FCEV					

■ Uso principal ■ Uso secundario

Fuente: elaboración propia a partir de (McKinsey & Company, 2014).

El diseño de un vehículo eléctrico requiere de la instalación de varios componentes (FITSA, 2015), tales como baterías, un motor de tipo eléctrico, un controlador del mismo, un potenciómetro, interruptores principal y de seguridad, un fusible principal, un dispositivo de conexión del cableado, un interruptor de carga y un transformador, así como de la implantación del sistema de conexión mecánica entre el motor eléctrico y la transmisión.

El motor eléctrico aporta un alto par de empuje que facilita su conducción en entornos urbanos y carreteras. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología en las baterías por el momento no ha propiciado la generalización de autonomías amplias, especialmente en ambientes fríos.

Dentro de los vehículos eléctricos, las características de la batería, que varían de un tipo a otro, representan una parte importante de este. Uno de los parámetros básicos de clasificación es la energía específica.

**TABLA 93. Tipos de batería más comunes**

Tipo	Energía específica (Wh/kg)	Descripción
Plomo-ácido	30	Baja energía específica y densidad energética que deriva en modelos grandes y pesados. Económicas y fáciles de reciclar.
Níquel-cadmio	55	Mejores prestaciones que las baterías de plomo-ácido. Prohibida su instalación en vehículos construidos a partir de 2005 por Directiva europea, ya que el cadmio es un metal pesado contaminante.
Níquel-hidruros metálicos	70-80	Empleado en la mayoría de vehículos híbridos. Ánodo de aleación de metales no pesados, por lo que es un modelo más ecológico y reciclable. Vida útil larga.
Iones de litio	100-120	Alto precio muy limitante. Larga vida útil.

Fuente: elaboración propia a partir de (FITSA, 2015).

La posibilidad de no depender únicamente de la batería eléctrica mediante el apoyo de un motor de combustión interna representa una manera de superar la autonomía limitada de esta, sin por ello renunciar a una reducción del consumo de combustibles y de las emisiones generadas en los desplazamientos. Es por ello que la modalidad del vehículo híbrido ha sido la que mayor penetración ha conseguido en el mercado, representando así un punto intermedio entre la movilidad convencional y la eléctrica.

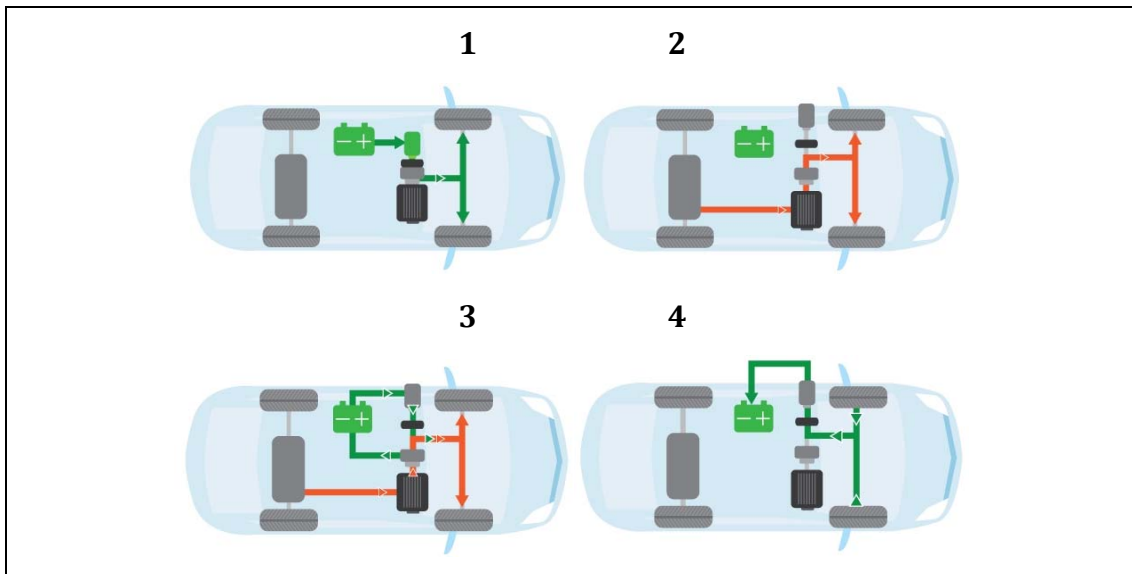
Para el diseño de un sistema híbrido en un vehículo se requieren varias modificaciones en los modelos convencionales, aunque los componentes fundamentales a incorporar son un motor eléctrico, un generador y una batería. El motor de combustión, por su parte, está sujeto a modificaciones en función la velocidad de giro o el régimen y el nivel de carga, aunque esto de cara a una optimización de su funcionamiento en un sistema híbrido, más que para una modificación en profundidad, tanto en encendido por compresión como por encendido provocado.

El funcionamiento combinado entre el motor convencional y el motor eléctrico se puede visualizar en la siguiente figura, que representa la puesta en marcha por fases de las dos modalidades en un Toyota Prius, un modelo a gasolina que es de los más comercializados en España.

Se aprecia que el motor eléctrico funciona en solitario (1) durante la conducción hasta un máximo de 15 millas por hora (en torno a 24 kilómetros por hora), lo que implica una mayor eficiencia de la modalidad híbrida en conducción urbana. Esto contrasta con la conducción en carretera o cuando se alcanza la velocidad de crucero (2), ya que el vehículo presenta mayor eficiencia utilizando únicamente el motor de combustión. Por su parte, es durante la aceleración (3) cuando se produce el verdadero efecto combinado del método híbrido, pues la potencia de las ruedas es producto del funcionamiento de ambos motores simultáneamente. Esto es posible gracias a la transmisión con divisor de potencia que combina el par de ambos motores.

Adicionalmente a la alternancia de motores según necesidad, o su uso a la vez, el funcionamiento ideal del concepto híbrido se produce cuando el frenado es utilizado de manera inteligente por el vehículo para la regeneración (4). De esta manera, cuando se produce una desaceleración, se deja de producir energía con los motores, y se aprovecha el giro de las ruedas para alimentar el generador de corriente y almacenar la energía en la batería, que luego es reutilizada. La generación de electricidad durante el desplazamiento para almacenar en la batería, a través del funcionamiento del motor de combustión, también es buscada en las fases 2 y 3.

**FIGURA 23. Funcionamiento del vehículo híbrido**



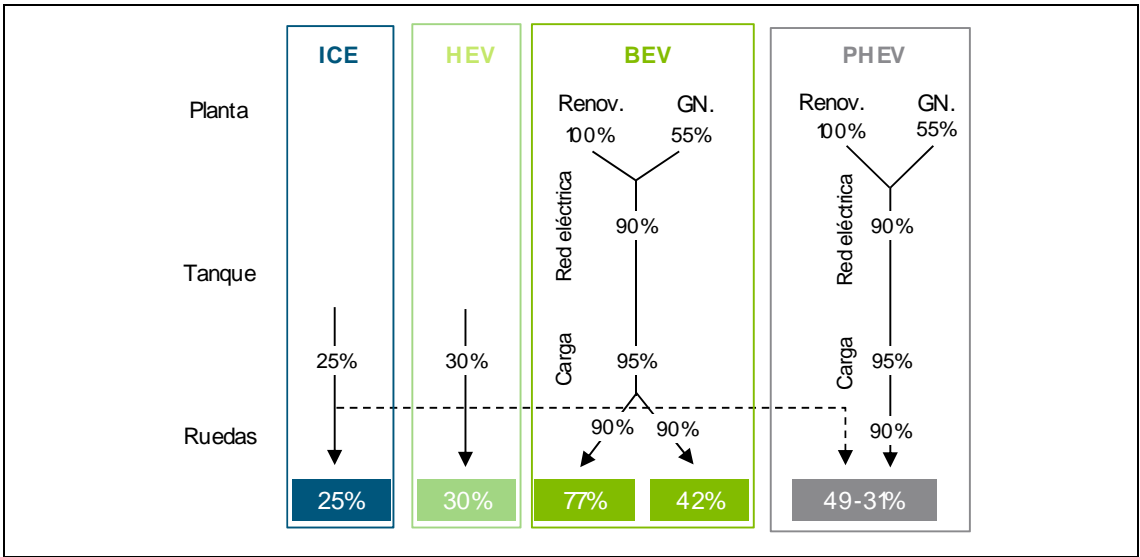
Fuente: (Jackson, 2011).

El motor de combustión interna sólo presenta un 25% de aprovechamiento de la energía. Por su parte, en el vehículo híbrido, la introducción de un motor eléctrico, además del convencional, contribuye a la mejora de la eficiencia energética hasta alcanzar niveles del 30%. Esto es referido al consumo del tanque a la rueda (TTW).

Si se busca una comparativa del pozo a la rueda (WTW, o del sistema energético a la rueda en el caso del vehículo eléctrico), en el caso del BEV, las estimaciones muestran una eficiencia que alcanza el 77% si la electricidad que carga las baterías del BEV tiene un origen plenamente renovable y un 42% si el *mix* de generación eléctrica está basado en gas natural. El PHEV, al tratarse de una combinación de motor convencional y eléctrico, tendrá una eficiencia mixta entre el 31-49%.



**FIGURA 24. Comparativa del aprovechamiento energético entre tipos de vehículos eléctricos**



Fuente: (Energía y Sociedad, 2015).






Como se ha mencionado antes, el desarrollo de la tecnología en el sector está condicionada por su expansión, y esto incluye las infraestructuras de recarga. Sin la instalación de puntos de suministro para las baterías, será imposible que el sector despegue adecuadamente.

Además, ha de tenerse en cuenta que los puntos de recarga varían en función del tipo del tipo de corriente, de la velocidad de carga, del tipo de vehículo y del tipo de conexión. Por ejemplo, el modelo de recarga rápida más conocido es el *CHAdeMO*, creado por la asociación del mismo nombre y que ha llegado de la mano de Toyota, Nissan, Mitsubishi, Fuji y Tepco (IDAE, 2012), pero existen otros modos de recarga rápida, al tiempo que hay que considerar la recarga lenta.

También se ha de tener en cuenta que conforme avance la tecnología, y Europa, China u otras economías desarrollen industria propia, podrían desarrollarse nuevos estándares para cada entorno. De esta manera, la norma estadounidense J1772 ha supuesto un punto de partida en la normalización de la carga lenta, de la que parte la IEC 61851 empleada en Europa.

En el caso de España, se contemplan cuatro posibles modos de carga: carga en base de corriente de uso no exclusivo; base de toma de corriente estándar de uso no exclusivo con protección estándar incluida en el cable; toma de corriente especial para uso exclusivo de la recarga del vehículo eléctrico y conexión de corriente continua.

**TABLA 94. Tipos de conectores de carga más comunes**

J1772	Schuko	J1772 combo	CHAdEMO	Tesla combo
				
- Carga convencional (corriente alterna) - Nivel 1 de carga :120 V; 3-8 km por hora de carga. - Nivel 2 de carga: 240 V; 16-32 km por hora de carga. - Apropiado para casos residenciales, aunque requiere un circuito especializado.		- Carga rápida (corriente continua) - 480 V; 80-112 km por cada 20 minutos de carga - El J1772 combo admite niveles 1 y 2 de carga, aunque el más común es el CHAdEMO. Tesla sólo utiliza el propio, aunque existen adaptadores.		

Fuente: elaboración propia a partir de (AFDC, 2015), (movilidadelectrica.com, 2017) y (EVADC, 2015).

**TABLA 95. Diferentes escenarios de repostaje a plantear**

	Modo de carga	Tiempo de permanencia	Propiedad de la conexión
<b>Centro comercial</b>	Rápida/lenta	1,2 h	Público
<b>Centro de trabajo</b>	Lenta	9 h	Público/privado
<b>Parking</b>	Lenta	2 h	Público
<b>Vía pública</b>	Rápida/lenta	1 - 12h	Público
<b>Comunidad de vecinos</b>	Lenta	12 h	Privado
<b>Garaje individual</b>	Lenta	12 h	Privado
<b>Estaciones de repostaje</b>	Rápida/cambio de batería	10 min	Público
<b>Estacionamiento de flotas de vehículos</b>	Rápida/lenta/cambio de batería	15 min - 12 h	Privado

Fuente: (IDAE, 2012).

### Gas natural

En 2013 había en el mundo 17,7 millones de vehículos que consumían gas natural, de los cuales 16,3 millones eran vehículos utilitarios ligeros de gas natural comprimido (GNC). Esta situación, que se da con un desarrollo especialmente intenso en algunos países, implica que la tecnología parece estar suficientemente probada.

**TABLA 96. Países con más de un 10% de vehículos a gas natural**

País	Porcentaje de vehículos a gas
Pakistán	80%
Bangladesh	62%
Armenia	55%
Bolivia	28%
Irán	27%
Uzbekistán	26%
Argentina	18%
Colombia	15%
Perú	10%

Fuente: (Furfari, 2016).

Los países del anterior cuadro han dado prioridad al GNC, pero por otro lado cabe destacar también el caso de China, que en 2013 presentaba 3.350 estaciones de

recarga de GNC y 1.300 de GNL. Este país ha apostado por el desarrollo del GNL debido a que este puede ser transportado vía carretera a aquellas regiones cuyo acceso a la red de transporte de gas sea más limitado (Furfari, 2016), supliendo así el inconveniente de la presencia física de gasoductos para las terminales de repostaje.

Respecto al GNL también puede destacarse Estados Unidos, en especial en el transporte de mercancías, y donde son varias las ciudades y compañías que han apostado por flotas de vehículos con gas natural. Sin embargo, también es cierto que Estados Unidos disfruta de una ventaja competitiva en cuanto al precio del gas, que puede ser la mitad o tres veces menos que el que se da en Europa, en especial a partir de la revolución de los recursos no convencionales en este país. De hecho parte de la expansión que se está dando en este tipo de combustible viene de la mano de las compañías que explotan los campos de gas no convencional, al convertir sus camiones a este tipo de tecnología para aprovechar su propio producto.

De esta manera, la aplicación del gas natural en los vehículos (GNV), al igual que ocurre con los eléctricos, puede tener diferentes grados, en función de si se utiliza en combinación con los combustibles convencionales o no, y cómo se realiza esto.

Las ventajas GNV se refieren a las emisiones. En este sentido, presenta emisiones hasta un 30% inferiores de CO<sub>2</sub> (Mora, 2015), y un 85% menores de NO<sub>x</sub>. Además, las emisiones de SO<sub>2</sub> son nulas y presenta una reducción de casi la totalidad de emisiones de partículas. Además, se produce una mejora de las emisiones acústicas frente al diésel. En los vehículos pesados, la reducción es del 50%. Es 100% compatible con el uso de biometano (biogás tratado<sup>201</sup> procedente de la digestión anaerobia de materia orgánica), combustible totalmente renovable<sup>202</sup>.

El GNL tiene un gran potencial debido a sus ventajas para los vehículos pesados. Entre estas cabe destacar que las emisiones se ven muy reducidas con el cambio de combustible, según la comparación, o que los niveles de ruido son considerablemente menores que en los motores diésel (diferencia que oscila entre los 5 y 13 DB). Además, su coste resulta inferior al de los camiones diésel al recuperarse en pocos años la inversión inicial adicional (dos o más años), aunque sí es cierto que esto implica un coste inicial más elevado, al tiempo que la conducción resulta más cómoda en los motores Otto que en los diésel.

Sin embargo, el desarrollo del sector y por tanto la aplicación de dichas ventajas se ve limitado por las circunstancias actuales, tales como la falta de infraestructura de GNL en las carreteras (inconveniente que se agrava si se tiene en cuenta que la autonomía de estos camiones es de entre 650 y 700 kilómetros, frente a los 1.000 o 1.500 de los diésel, que lleva a mayor frecuencia de repostaje), o que no hay una legislación consensuada para las estaciones u homologación de los vehículos. De esta manera, tampoco se existe un número suficiente de fabricantes o modelos

---

<sup>201</sup> El biometano debe ser tratado debido a su contenido de CO<sub>2</sub> y compuestos de azufre.

<sup>202</sup> Los cálculos realizados en este estudio presentan porcentajes similares en CO<sub>2</sub>, pero no en NO<sub>x</sub>.

disponibles, y por tanto tampoco hay suficientes piezas de origen o un mercado de segunda mano (inconveniente en el sector de las mercancías).

A esto se habrían de añadir algunas dificultades técnicas, como que hay pérdidas por evaporación del combustible que llevan a que el GNL se deba consumir dentro de los siete días siguientes a haber repostado, así como una menor capacidad de frenado en los motores de GNL (especialmente importante para descender pendientes pronunciadas).

El desarrollo del gas natural vehicular, probado como factible dados los anteriores casos, es extrapolable a España dada la extensa infraestructura gasista construida, en especial en cuanto a capacidad de importación de GNL, a la cabeza en el continente. En el caso concreto de la CAPV no sólo hay capacidad de importación a través del Puerto de Bilbao, sino que se da un importante nudo gasista, de importancia estratégica para España.

**TABLA 97. Costes estimados de estaciones de suministro de GNC**

Capacidad (l/día)	Tipo de suministro	Rango de coste (\$)	Aplicación
19-38	Lento	5.500-6.500	Un coche personal hasta 19 l/noche
	Lento	9.000-10.000	Flota privada de 2 coches a 19 l/noche
76-151	Rápido	45.000-75.000	Flota privada de 4 coches a 38 l/día
	Rápido	400.000-600.000	Flota privada de 9-16 coches a 45 l/día
379-757	Lento	250.000-500.000	Flota privada de 15-20 coches a 26 l/noche o 10-20 autobuses a 38 l/noche
	Rápido	700.000-900.000	Estación pública: 50-80 coches a 38 l/día
1.893-3.028	Lento	550.000-850.000	Flota privada: 75-80 coches a 26 l/día o 50-80 autobuses a 38 l/noche
	Rápido	1,2-1,8 millones	Uso para flotas locales o servicios de aeropuerto

Fuente: elaboración propia a partir de (Smith y Gonzales, 2014).

Nota 1: Sólo se recogen las estaciones pensadas para dar servicio a coches de pasajeros y autobuses. El original incluye otros vehículos pesados o de mercancías.

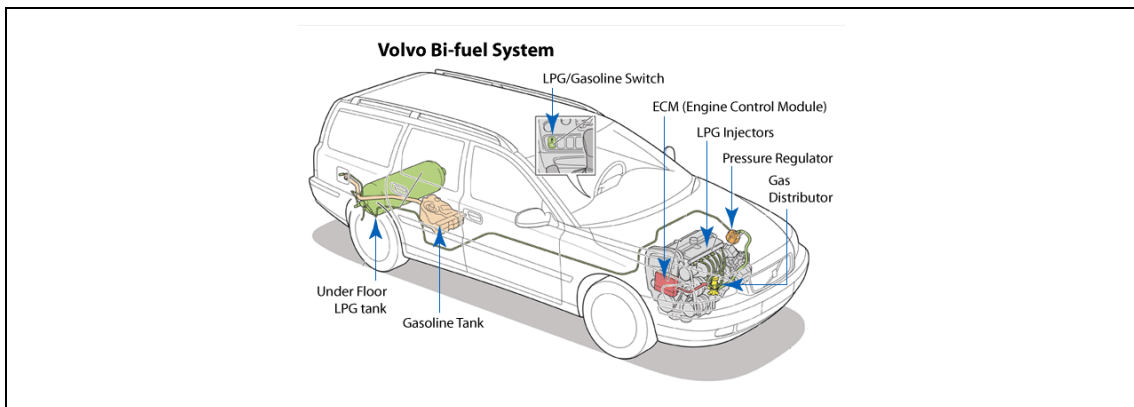
Nota 2: Las aplicaciones son las propuestas a modo de ejemplo en el original, que en este caso se toman como referencia para su aplicación práctica.

Nota 3: El volumen en el original está dado en "gge" o galones equivalentes de gasolina. Las equivalencias son 1 gee = 3,7854 litros y 1 gge = 126 scf (pies cúbicos estándar).

### **GLP**

Se podría decir que la presencia de Repsol a través de Petronor en la CAPV podría ser una potencial oportunidad para el desarrollo de esta tecnología. Por un lado, la refinería en Bizkaia de la petrolera es un punto de producción de GLP que podría potenciarse con consumo interno. Esta cuenta actualmente con cuatro unidades de recuperación y fraccionamiento de GLP, así como con tres unidades de desulfuración Merox de GLP (Petronor, 2010).

**FIGURA 25. Componentes de un vehículo de GLP**



Fuente: Compressed Natural Gas: A Suite of Tutorials. Courtesy of Thomason & Assoc. Inc. en (AFDC, 2015).

## AUTORES

### ***Eloy Álvarez Pelegrý***

Doctor Ingeniero de Minas por la ETSI Minas de Madrid, licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales por la UCM y diplomado en Business Studies por London School of Economics. Es director de la Cátedra de Energía de Orkestra-Instituto Vasco de Competitividad, Fundación Deusto y Académico de la Real Academia de Ingeniería. De 1989 a 2009 trabajó en el Grupo Unión Fenosa, donde fue director de Medioambiente e I+D y de Planificación y Control; así como secretario general de Unión Fenosa Gas. Ha sido profesor asociado en la ETSI Minas de Madrid y en la UCM, y director académico del Club Español de la Energía.

### ***Jaime Menéndez Sánchez***

Ingeniero de Minas de la Universidad de Oviedo y especializado en la rama de Energía, trabaja como ayudante de investigación en la Cátedra de Energía, donde ha participado en el proyecto sobre "Transiciones Energéticas e Industriales". Parte de sus estudios los realizó en la Universidad Técnica de Ostrava (República Checa), mediante una beca Erasmus. A esto le siguió la concesión de una beca por parte de EDP para realizar prácticas en la misma compañía, concretamente en el Departamento de Ambiente, Sostenibilidad, Innovación y Calidad, donde compatibilizó el desarrollo de un programa Lean con otras actividades. En 2015, le fue concedido el Premio CEPESA al mejor Proyecto Fin de Carrera sobre Exploración y Producción de Hidrocarburos.



C/ Hermanos Aguirre nº 2  
Edificio La Comercial, 2ª planta  
48014 Bilbao  
España  
Tel: 944139003 ext. 3150  
Fax: 944139339  
[www.orquestra.deusto.es](http://www.orquestra.deusto.es)