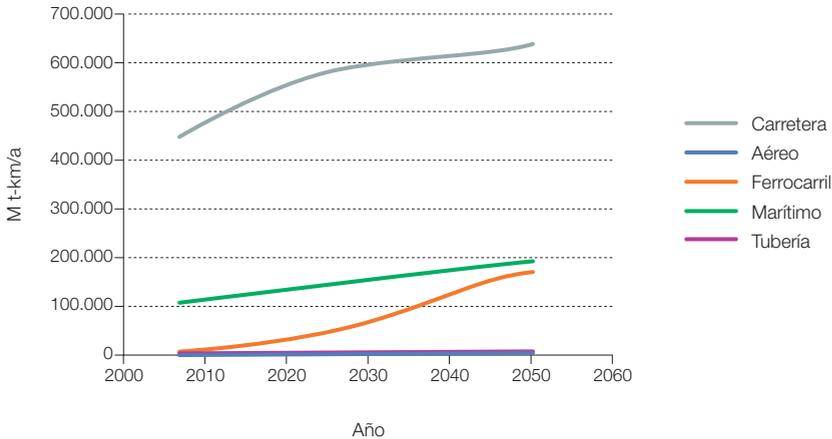


**Figura 111.** Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto E3.0.



Finalmente, por lo que respecta a los valores de movilidad absoluta cubierta por los distintos modos de transporte de mercancía no urbana, las figuras 109 a 111 nos muestran su evolución para los contextos BAU y E3.0 a lo largo del escenario temporal considerado.

### 3.6.3 Escenarios de consumo específico modal

En este punto vamos a recoger los escenarios de evolución del consumo específico para los distintos modos de transporte de viajeros y mercancías. El consumo específico modal incluye los efectos del consumo específico de los vehículos empleados y los del factor de capacidad (CF) con el que se emplean estos vehículos. El consumo específico de los vehículos viene afectado por las mejoras y/o cambios tecnológicos<sup>290</sup>, mientras que el CF se ve especialmente afectado por la introducción de inteligencia en el sistema de transporte.

Uno de los elementos fundamentales que nos permite alcanzar una gran reducción de la

demanda energética en el contexto E3.0 respecto al contexto BAU, más allá de las reducciones alcanzadas sobre la propia demanda de movilidad por otros medios<sup>291</sup>, es la introducción de inteligencia en el sector transporte. En efecto, el STI permite sacar un rendimiento muy superior a las infraestructuras existentes, y elimina de raíz el origen de los impactos negativos del sector transporte sobre la economía, las personas, y el entorno (congestiones, contaminación, accidentes, etc.).

Para conseguir desplegar el máximo potencial del STI es preciso que se articule mediante mecanismos de mercado asociados a una economía energética basada en prestaciones. Es decir, es menester que tenga lugar una reestructuración económica del sector transporte para que el origen de los beneficios obtenidos pase de ser el número de vehículos vendidos, a ser la cobertura de la demanda de servicio de movilidad con el mínimo consumo energético y la máxima comodidad para los usuarios. Esta es realmente una reestructuración profunda, pero podría

<sup>290</sup> Por ejemplo, el paso de los vehículos con motor de combustión interna (MCI) a vehículos eléctricos.

<sup>291</sup> Como por ejemplo, la desmaterialización de la economía facilitando el teletrabajo, las teleconferencias, el e-learning, etc.

introducir los cambios en escalón que necesitamos para que el sector transporte evolucione hacia la sostenibilidad en los cortos plazos de tiempo de que disponemos. En (García Casals X., 2009) se encuentra un ejemplo de un modelo de negocio que permitiría iniciar esta transición en el sector transporte.

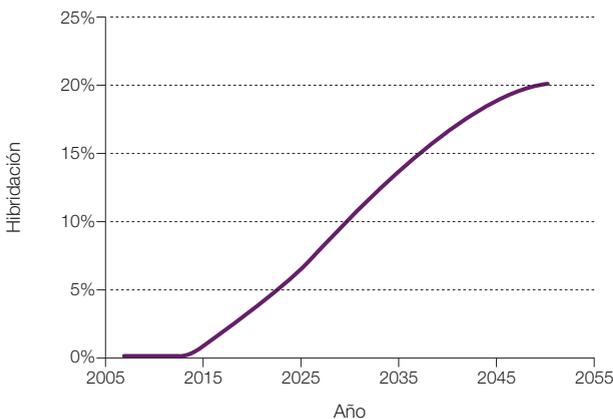
### 3.6.3.1 Escenarios de transporte en coches

El coche se percibe probablemente como el mayor responsable de la falta de sostenibilidad actual en el sector transporte: consumo energético disparatado, gran dependencia de los combustibles fósiles, muy baja eficiencia para la cobertura de la demanda de movilidad, congestiones exageradas, gran número de accidentes, etc. Por ello existe la tendencia a señalarle como culpable y buscar escenarios en los que su participación en la cobertura de la demanda de movilidad se vea reducida al máximo posible. Sin embargo, en el contexto actual las implicaciones del coche van mucho

más allá de sus repercusiones energéticas, y se ha arraigado en la estructura de nuestros modelos cultural y económico, por lo que realmente resulta difícil evolucionar hacia un escenario en que su papel predominante se vea reducido de forma significativa<sup>292</sup>.

Pero realmente no es el coche el culpable ni el responsable de la situación actual del sector transporte, sino el uso que de este medio de transporte estamos haciendo, y los mecanismos de mercado con los que le hemos introducido<sup>293</sup>. En efecto, en el contexto de un STI y con unos mecanismos económicos en los que el beneficio quede directamente vinculado al ahorro y la eficiencia, el coche probablemente seguiría siendo uno de los elementos principales del sistema de transporte. Con una motorización eléctrica y operado con elevados factores de capacidad, añade a su elevada elasticidad unos consumos específicos del orden de los que podamos alcanzar con los medios de transporte más eficientes, pero mucho más inelásticos, y además proporciona herramientas muy valiosas para regular un sistema energético integrado.

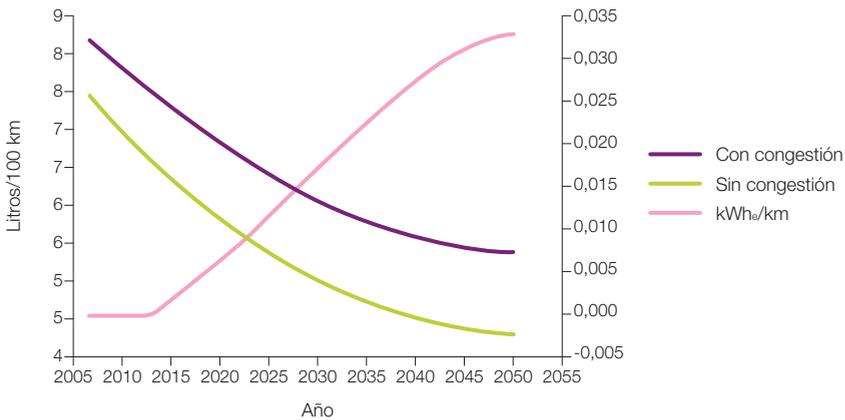
Figura 112. Escenario de hibridación del parque de coches en el contexto BAU.



**292** A nivel del modelo económico, resulta ilustrativa la experiencia del año 2009. En medio de una situación de crisis económica, asociada entre otros a un modelo económico que promueve el despilfarro energético, las actuaciones del Gobierno para resolver la crisis van directamente encaminadas a mantener el modelo económico establecido promoviendo que se sigan comprando coches mediante la subvención de los mismos, en lugar de dirigir los esfuerzos políticos a reestructurar el modelo productivo para que su "salud" no esté directamente relacionada con el despilfarro.

**293** Adicionalmente, el extenso uso que hasta ahora hemos hecho del coche como medio de transporte ha conducido a la creación de una ingente infraestructura de movilidad que deberíamos aprovechar y optimizar bajo el supuesto de introducción de eficiencia en este medio de transporte.

**Figura 113.** Consumo de combustible, en términos de litros de gasolina equivalente, del parque de coches en el escenario BAU, en condiciones de operación ideal (sin congestión) y en condiciones de operación real (con congestión). En el eje de la derecha recogemos el consumo de electricidad asociado a la hibridación de los coches BAU (promedio parque de vehículos) en condiciones de operación real.



Para el escenario BAU supondremos que la eficiencia energética media del parque de vehículos mejora significativamente a lo largo de todo el escenario, con una hibridación<sup>294</sup> creciente que llega a alcanzar el 20% en el año 2050 (ver figura 112), lo que da lugar a una reducción muy importante del consumo de combustible líquido a lo largo del escenario. Sin embargo, la ausencia de implementación de un STI hace que los problemas de congestión se vayan agudizando, con el consiguiente incremento del consumo efectivo de los coches<sup>295</sup>. En la figura 113 mostramos la evolución del consumo de combustible líquido (en términos de litros equivalentes de gasolina) del parque de coches BAU en operación ideal (sin congestión) y en operación real (con congestión), así como el consumo de electricidad asociado a la hibridación del parque de coches BAU.

Para el escenario de tecnología E3.0 asumimos una electrificación total<sup>296</sup> del parque de

coches. Partiendo de una situación inicial con el consumo de los coches eléctricos que ahora están saliendo al mercado, planteamos un escenario de gasto energético de los vehículos inicialmente creciente<sup>297</sup>, al ir aumentando el tamaño y prestaciones de los vehículos, que posteriormente se estabiliza y empieza a reducirse al ir introduciendo mejoras de eficiencia, tanto en el diseño de los vehículos como en su operación. En la figura 114 mostramos la evolución del consumo específico de los coches, por vehículo medio del parque, para los escenarios BAU y E3.0. Como podemos ver, la electrificación de los coches en el planteamiento E3.0, a pesar de haber introducido un planteamiento conservador de incremento significativo en los primeros años, conduce a una estructura de consumo mucho más favorable que el BAU progresista que hemos supuesto.

El siguiente aspecto a considerar es cómo se usan esos coches, que una vez establecido el

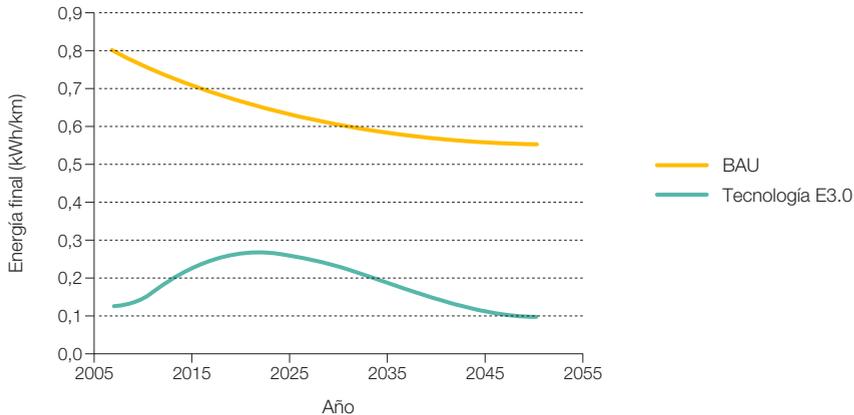
**294** Aquí definimos la hibridación como el porcentaje del consumo fósil que es sustituido por electricidad, y se refiere al promedio del parque de coches.

**295** También hemos supuesto un incremento de un 10% de consumo energético para la conducción urbana.

**296** Este planteamiento puede sonar, a priori, muy radical, por parecer irreal que de la noche a la mañana se pueda reconvertir el parque de coches de un parque basado en el MCI a uno totalmente electrificado. Este es un cambio en escalón que por necesario que sea, a priori puede antojarse como excesivamente brusco para tener algún viso de realidad. Y en efecto así es, pero es preciso tener en cuenta dos aspectos: en primer lugar, el escenario planteado como tecnología E3.0 no corresponde a los escenarios de transición, sino que representan la situación que cada año nos ofrece la tecnología E3.0 (en este caso el vehículo eléctrico). Posteriormente ya aplicaremos diversos escenarios de transición para pasar del contexto BAU al contexto E3.0. En segundo lugar, la modificación de la estructura económica del sector transporte, con un STI basado en la prestación de servicios de movilidad en lugar de en la venta de unidades de coches, tiene capacidad de introducir cambios en escalón que van mucho más allá de lo que nos permite plantearnos la mentalidad BAU, por lo que la transición desde el contexto BAU al E3.0 podría ser mucho más rápida de lo que nos refleja la experiencia pasada, en la que, por lo general, no se activaban cambios estructurales en los sistemas en que estamos organizados.

**297** Es preciso recalcar que estos escenarios podrían considerarse como demasiado progresista para el enfoque BAU, y probablemente excesivamente conservadores para el escenario E3.0.

**Figura 114.** Escenarios de evolución del consumo específico total de energía final (electricidad y combustible) de un coche medio representativo del parque de coches en los escenarios BAU y E3.0.



consumo energético del vehículo en condiciones de operación, básicamente se limita a cuál es la ocupación con la que se usan los coches, es decir, su factor de capacidad (CF), y es precisamente aquí donde el planteamiento de un STI introduce unas grandes diferencias entre los contextos BAU y E3.0.

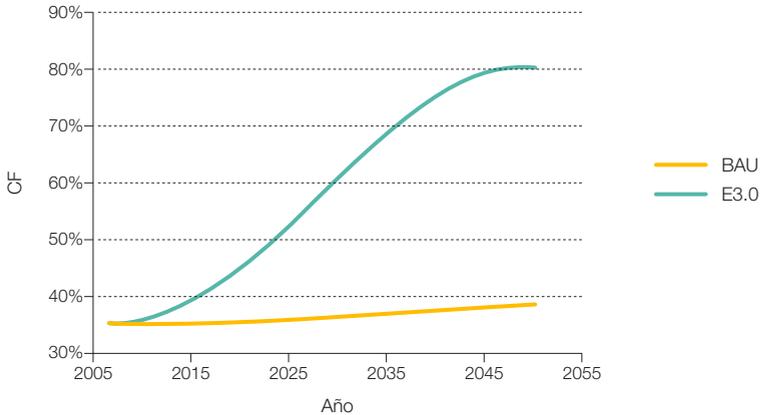
Para el contexto BAU suponemos que la tendencia se mantiene parecida a la actual. La referencia es que en 2001 teníamos 1,87 viajeros/coche de media, y en 2007 había descendido a 1,74 viajeros/coche (Ministerio de Fomento, 2007), empeorando por tanto el factor de capacidad con el que se usa el coche. Las políticas BAU para introducir mejoras en la dirección requerida por el cambio climático, pero con alcance insuficiente, pueden intentar mejorar un poco el factor de capacidad con el que se usa el coche, pero la tendencia fundamental seguirá siendo la del uso individual del vehículo porque el sistema económico y político no va a ofrecer alternativas<sup>298</sup> a los demandantes del servicio de movilidad, lo cual va a contrarrestar en gran medida aquellas políticas

tendientes a mejorar el CF. En estas condiciones planteamos un escenario optimista para la evolución del CF en el contexto BAU, en el que se consigue invertir la tendencia histórica a la reducción del CF durante los próximos años, para posteriormente pasar a adquirir tasas crecientes del CF hasta el final del escenario.

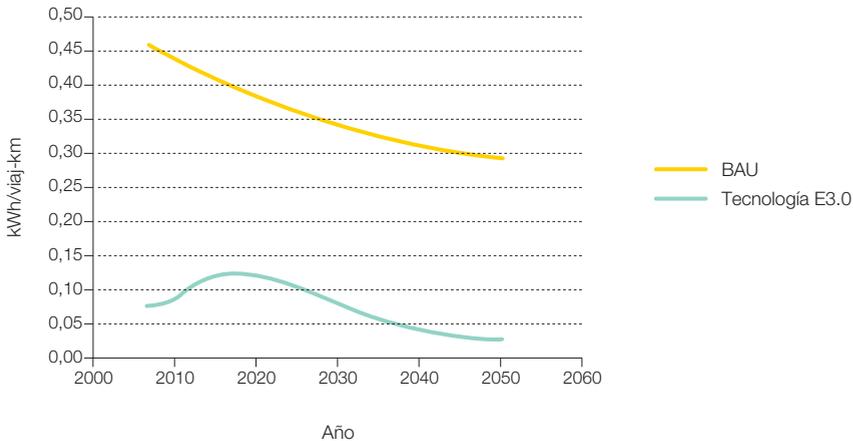
En el contexto E3.0, la implementación de un STI permite aumentar de forma muy significativa el CF con el que se usa el coche. En este contexto el coche va evolucionando progresivamente hacia una situación de servicio colectivo desde su condición actual de servicio particular. En estas condiciones, los coches, mayoritariamente por lo que respecta a la cobertura de la demanda de movilidad, ya no son propiedad del demandante del servicio de movilidad, sino de una empresa (pública o privada) de prestación de servicios de movilidad. Este planteamiento no implica que dejen de tenerse coches en propiedad particular<sup>299</sup>, pero sí el que estos dejen de emplearse para cubrir una porción significativa de la demanda de movilidad<sup>300</sup>.

- 298** Introducir alternativas que permitan un cambio radical de las tendencias básicas requiere de la aplicación de inteligencia a estos sistemas, lo cual no entra dentro del contexto BAU.
- 299** Hay elementos culturales muy arraigados relacionados con la propiedad particular de los coches, y no hay necesidad de hacer depender la transición del sistema de transporte de la superación de estos aspectos culturales, pues sus plazos de respuesta son más dilatados de los necesarios y disponibles para reconvertir el sistema de transporte hacia la sostenibilidad.
- 300** Es decir, los demandantes del servicio de movilidad probablemente sigan teniendo un coche en propiedad particular durante algunos años, pero a la hora de cubrir su demanda de servicios de movilidad, les resultará mucho más ventajoso contratar esos servicios de la empresa de prestación de servicios de movilidad bajo el contexto de un STI, que el cubrirlos con su propio coche. En efecto, a nivel económico les resultará mucho más favorable contratar el servicio de movilidad (ver estudio de modelo de negocio en anexo para contrastar la magnitud del potencial de ahorro), y a nivel operativo también son múltiples las ventajas que les puede ofrecer la empresa de servicios de movilidad (comodidad, seguridad, rapidez, etc.) al tener acceso a todos los beneficios del STI. Con el tiempo, si las empresas de servicios de movilidad evolucionan suficientemente, estos elementos harán que se vaya superando la necesidad de la propiedad particular del coche, accediendo al potencial de optimización de recursos que permite el enfoque E3.0 (no necesidad de aparcamiento, mantenimiento, actualización del vehículo particular).

**Figura 115.** Escenarios de evolución del factor de capacidad del parque de coches en los escenarios BAU y E3.0.



**Figura 116.** Escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad de los coches en los escenarios BAU y E3.0.



En estas condiciones, el escenario E3.0 llega a alcanzar valores del CF del orden de los actuales para la aviación, puesto que al igual que ésta se tratará de una flota optimizada que además adaptará el tipo de vehículo (tamaño) a las necesidades de cada servicio.

Algunas referencias (WBCSD, 2009) ya están planteando en la actualidad los denominados

*Cybernetic Transport Systems (CTS)*<sup>301</sup>, lo cual permite aumentar el CF<sup>302</sup>, y además mejoran la gestión del tráfico al poderse optimizar, así como la seguridad (no participación de las personas en la conducción).

En el contexto E3.0 limitamos el CF de los coches al final del escenario a valores del orden del 80% (cuatro de cinco plazas) por tratarse

<sup>301</sup> "Cybernetic transport systems", es decir, vehículos que se conducen automáticamente.

<sup>302</sup> Podría llegar hasta el 100% por no haber conductores; todos los ocupantes son pasajeros. Por el contrario, en motos, incluso con la conducción automática, es difícil que vaya al 100% de CF con el concepto actual de motocicleta por aspectos relacionados a las condiciones de uso. Pero sí cabe la opción de que la motocicleta evolucione hacia un concepto de vehículo biplaza con dos compartimentos independientes.

de valores medios de toda la flota<sup>303</sup> del STI. En la figura 115 presentamos los correspondientes escenarios de evolución del CF en los contextos BAU y E3.0.

De acuerdo con los escenarios de consumo específico de los vehículos y de sus CF ya es posible elaborar los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad del modo de transporte considerado. En la figura 116 recogemos estos escenarios para los coches<sup>304</sup>, y en ella podemos apreciar el gran potencial que tiene el planteamiento de la tecnología E3.0 para reducir el consumo energético de este modo de transporte que, como vimos anteriormente, sigue siendo dominante en el contexto E3.0. Además de esta mayor eficiencia, la electrificación y concentración en compañías operadoras de servicios de movilidad, permite al contexto E3.0 ofrecer un gran potencial de contribución a la regulación del sistema energético integrado.

### 3.6.3.2 Escenarios de transporte en motos

Con frecuencia se escuchan voces proponiendo una transición modal de coche a moto como una medida de eficiencia energética. La lógica detrás de este planteamiento es el hecho de que el menor peso, tamaño y superficie de rodadura de una moto respecto a un coche debería proporcionar un importante margen de mejora de la eficiencia energética.

De hecho, exclusivamente desde el punto de utilización, en el contexto actual en el que un importante porcentaje de los coches van con un solo ocupante, el cambio modal hacia la moto permitiría pasar directamente de los CF del 35% a un CF del 50%, lo cual constituye una mejora muy significativa. Además, las motos están mucho menos sujetas

a las situaciones de congestión extrema a las que se encuentran sometidos los coches, especialmente en ambientes urbanos, y son mucho más sencillas de estacionar, ahorrando el correspondiente consumo de combustible.

Pero con todo, se debe tener precaución con este planteamiento, pues la triste realidad a día de hoy es que la regulación energética de las motos brilla por su ausencia, y no existe etiquetado ni objetivos de emisiones para estos vehículos, mientras que para los coches sí que existen. De hecho, los motores de muchas motos trabajan a revoluciones muy superiores a las de los coches, buscando con ello aumentar sus prestaciones, con lo que su eficiencia es significativamente inferior.

Por último, el pequeño tamaño y espacio disponible en las motos dificulta el planteamiento de hibridación (dotarla de dos motorizaciones) que si que consideramos en el escenario BAU de los coches.

De acuerdo con esta situación, para el contexto BAU planteamos un escenario<sup>305</sup> optimista con una sensible reducción en el consumo específico. Por lo que respecta al CF, en un contexto BAU consideramos que no hay opción de mejora respecto a la situación actual.

En el contexto E3.0 planteamos un escenario con motos eléctricas<sup>306</sup>, que podrían incluso llegar a tener una capacidad de conducción automática<sup>307</sup> con el STI. Actualmente ya se han empezado a comercializar motos eléctricas en nuestro país, ver figura 117, aunque por ahora sus prestaciones las limitan exclusivamente al ámbito urbano. Al igual que en el caso de los coches eléctricos, planteamos un escenario conservador de consumos de las motos eléctricas en el que se contempla que,

**303** Estos valores son del orden de los que actualmente ya se consiguen en los aviones, con una explotación de la flota parecida a la que se haría del parque de vehículos en el contexto de un STI.

**304** Como podemos ver en la gráfica, se trata de un escenario de tecnología E3.0, al que posteriormente aplicaremos distintos escenarios de transición para evolucionar desde el contexto BAU al contexto E3.0.

**305** No diferenciamos urbano e interurbano: la reducción de la cilindrada en urbano se compensa con el incremento de la congestión.

**306** La bicicleta eléctrica, en este estudio, queda conceptualmente incorporada dentro de la moto eléctrica.

**307** De hecho, en el contexto E3.0, el concepto de moto puede evolucionar hacia el de un vehículo monoplaza o biplaza autopilotado. El autopilotado permite, por un lado, optimizar la operación del vehículo disponiendo de mucha más información para su interacción inteligente con las infraestructuras de movilidad, así como desvincularla de las actuaciones humanas descoordinadas que son las que introducen el caos y la inseguridad en el sistema de transporte actual. Pero además, en el caso de mantener las dos plazas disponibles permite incrementar el factor de capacidad.

**Figura 117.** Ejemplo de moto eléctrica ya comercializada en España. Se trata del modelo VX-1 de Vectrix, con un motor de 21 kW y una velocidad punta de 100 km/h, implementando una batería con una capacidad de 3,7 kWh, lo que le confiere una autonomía entre 56 km y 89 km según las condiciones de conducción.



partiendo de los valores actuales habrá una primera etapa de crecimiento del consumo medio del parque asociada al incremento de prestaciones de las motos comercializadas, que a medida que pase el tiempo será contrarrestado por los incrementos de eficiencia en el diseño y la operación de estos vehículos.

En la figura 118 mostramos los escenarios de consumo específico por vehículo de las motos en los contextos BAU y tecnología E3.0. Como podemos apreciar, el margen de mejora asociada a la electrificación es muy importante, incluso superior al de los coches, dada la menor eficiencia de partida de los MCI de las motos.

Por lo que respecta a la ocupación, en la figura 119 mostramos los escenarios de evolución de los CF de las motos en los contextos BAU y E3.0<sup>308</sup>. Una vez más, el STI es el que marca las diferencias fundamentales por lo que a la ocupación de los vehículos respecta.

Según estos dos escenarios, podemos ya elaborar el escenario de consumos específicos por unidad de movilidad para las motos, que encontramos recogido en la figura 120. Como podemos ver, el potencial de mejora del contexto E3.0 respecto al BAU resulta también muy elevado para el caso de las motos.

Llegados a este punto, resulta interesante comparar desde el punto de vista del consumo energético los escenarios de coches y motos.

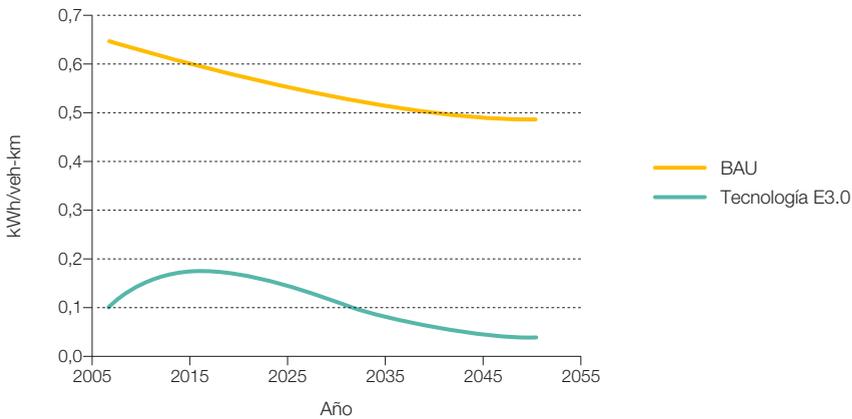
En la figura 121 podemos comparar los escenarios tecnología E3.0 de coches y motos por vehículo. Como podemos ver, excepto en torno al año 2010 en que ambos vehículos presentan un consumo del mismo orden de magnitud, en el resto del escenario el consumo del coche es sensiblemente superior al de la moto. Sin embargo, debido a la mayor capacidad de transporte del coche que de la moto, en la

<sup>308</sup> En el caso del CF el escenario presentado ya incorpora el escenario de transición.

figura 122 podemos observar cómo los consumos específicos por unidad de movilidad de estos dos vehículos son muy parecidos. Este resultado refuerza el planteamiento del STI en el que se ajusta el tipo de vehículo a emplear, a la demanda de movilidad específica, y nos permitiría omitir la diferenciación entre coches y motos en el contexto E3.0.

Sin embargo, para el contexto BAU, tal y como nos muestra la figura 123, la moto resulta significativamente más ineficiente por unidad de movilidad que el coche. Este resultado es consecuencia de la dificultad de hibridación de la moto, la menor regulación energética que se aplica a las motos, y el menor potencial de mejora del CF para las motos.

**Figura 118.** Escenarios BAU y tecnología E3.0 de consumos específicos de las motos por vehículo representativo del parque.



**Figura 119.** Escenarios BAU y E3.0 del factor de capacidad de las motos.

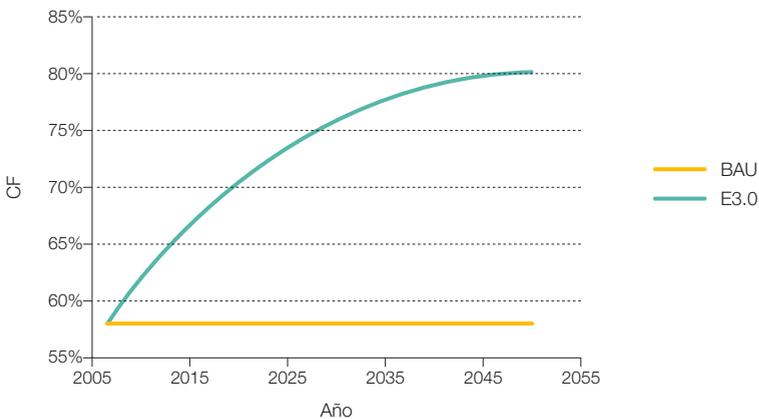


Figura 120. Escenarios BAU y E3.0 del consumo específico por unidad de movilidad de las motos.

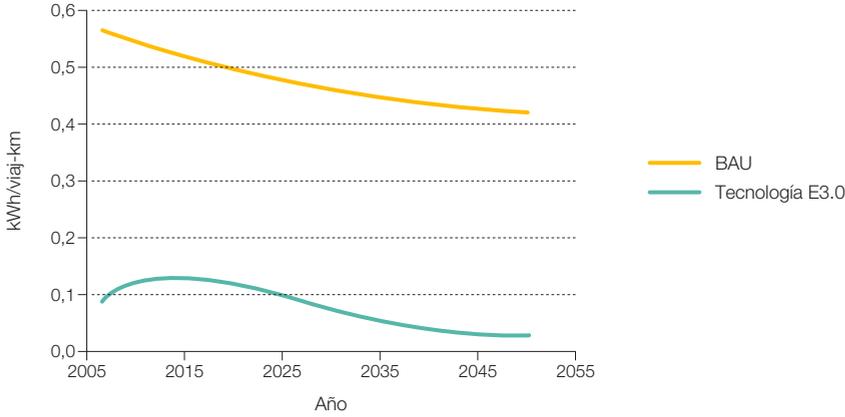
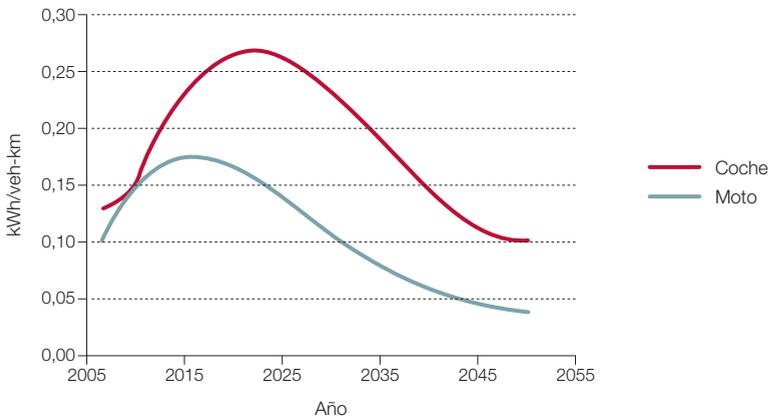
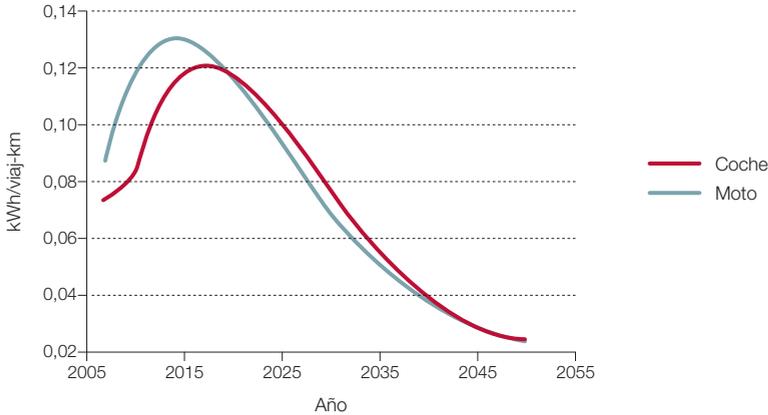


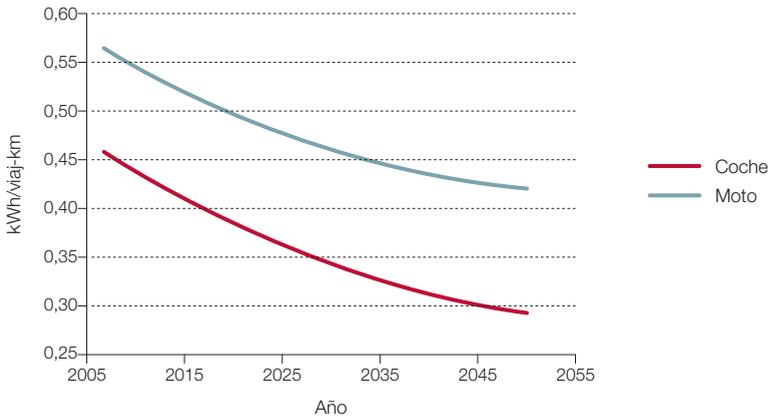
Figura 121. Comparativa de los escenarios de consumo específico por vehículo de los coches y motos de la tecnología E3.0.



**Figura 122.** Comparativa de los escenarios de consumo específico por movilidad de los coches y motos en la tecnología E3.0.



**Figura 123.** Comparativa de los escenarios de consumo específico por movilidad de los coches y motos en el contexto BAU.



### 3.6.3.3 Escenarios de transporte en autocar

En este punto presentamos los escenarios de consumo específico de los autocares (transporte de viajeros interurbano).

Para el contexto BAU partimos de los valores actuales del consumo específico y ocupación,

y suponemos una mejora en la eficiencia de los vehículos y de su CF<sup>309</sup>, pero no asumimos hibridación alguna, motivo por el cual la reducción de consumo es inferior a la que anteriormente planteamos para los coches en el contexto BAU.

El hecho de que dentro del contexto BAU asumamos una cierta hibridación de los

**309** Como en otros casos, el supuesto que hacemos es relativamente optimista de acuerdo con lo que cabría esperar por la evolución histórica.

coches, y por el contrario no consideremos hibridación alguna en los autocares<sup>310</sup>, tiene su justificación en el contexto en el que se desarrolla la comercialización de estos vehículos, en la estructura de los modelos de negocio establecidos, y en las aplicaciones a las que van orientados. En el caso de los coches, el mercado actual ya está ofreciendo vehículos híbridos, y los requerimientos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de este tipo de vehículos van a empujar hacia la hibridación progresiva, mientras no se abandone el motor de combustión interna (MCI). Gran parte de los desplazamientos que realizan los coches son en ambientes urbanos, por lo que la operación híbrida en estas condiciones de funcionamiento a baja velocidad resulta eficiente sin necesidad de incorporar grandes motorizaciones eléctricas. Por el contrario, el autocar se limita a desplazamientos interurbanos, y no existe por ahora ningún requerimiento de reducción de emisiones que apunte hacia la necesidad de la hibridación, así como tampoco hay vehículos híbridos en el mercado. El contexto económico bajo el que se desenvuelve la actividad de transporte BAU, parece difícil de justificar el gran incremento de inversión inicial asociado a la hibridación por el limitado beneficio que se obtendría de ella. Por el contrario, parece más plausible que en el caso de tener requerimientos de reducción de emisiones se evolucionara hacia el uso de biocombustibles.

Los autocares en la tecnología E3.0 los suponemos 100% eléctricos. Es un cambio radical, pero va buscando minimizar la necesidad de biocombustible líquido dada la escasez del recurso biomasa en nuestro país. Actualmente ya se comercializan bus eléctricos con 500 km de autonomía, y en las estaciones finales se puede proceder a un cambio completo de batería (sin esperar a recarga), por lo

que es un modelo de negocio que parece tan plausible o más que el planteado para la introducción de los coches eléctricos.

La mejora del CF en el contexto E3.0<sup>311</sup> respecto al BAU es debida a que en un STI el tamaño de los autocares se ajusta mejor a la necesidad de movilidad, y su uso se limita a esas situaciones en las que resulta apropiado según la estructura de la demanda de movilidad para ese trayecto. Así como en el contexto BAU los autocares siguen circulando con CF muy bajos en algunos trayectos<sup>312</sup>, en el contexto E3.0, soportado por un STI, estas situaciones de ineficiencia extrema se eliminan, y se cubren esas demandas de movilidad con otros vehículos (coches, furgonetas, minibuses, etc.) usados con elevado CF.

En el caso de los autocares eléctricos de la tecnología E3.0, no suponemos un incremento tan grande de consumo como en los coches, pues aquí no va a haber tanta demanda de incrementar potencias y prestaciones. Partimos de unos consumos específicos ligeramente superiores a los de los productos actualmente disponibles en el mercado, asumimos un ligero incremento en los primeros años, y al final del escenario llegamos a un valor menor al inicial alcanzable por varios motivos: mejora en los rendimientos de los vehículos, evitar congestiones, etc.

Es de notar que en la tecnología E3.0 el autocar consume del orden de la mitad que el coche por unidad de movilidad, por lo que con esta gran variación, sí que tiene sentido mantener la diferenciación entre ambos modos. Sin embargo, la cobertura de demanda de movilidad que hacen los autocares es inferior a la que plantearíamos con un enfoque BAU, debido a que su uso se limita a esas situaciones en las que se puede alcanzar un elevado CF.

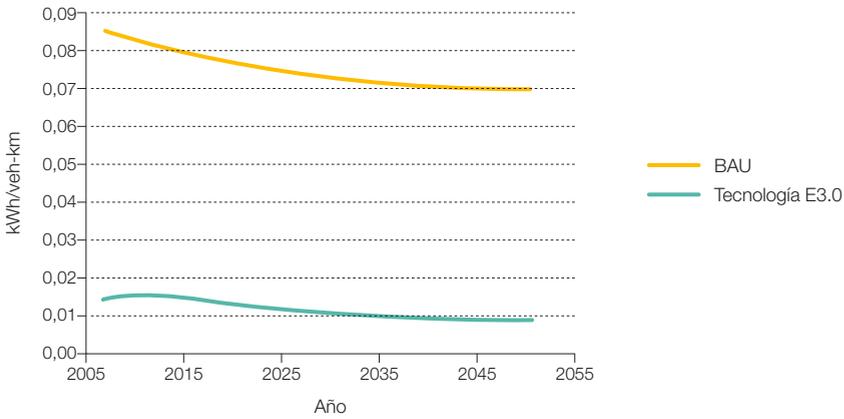
**310** En el caso de los autobuses urbanos si que supondremos una cierta hibridación del parque en el contexto BAU porque se dan condiciones diferenciales respecto a los autocares.

**311** En el caso del CF ya se incluye el escenario de transición.

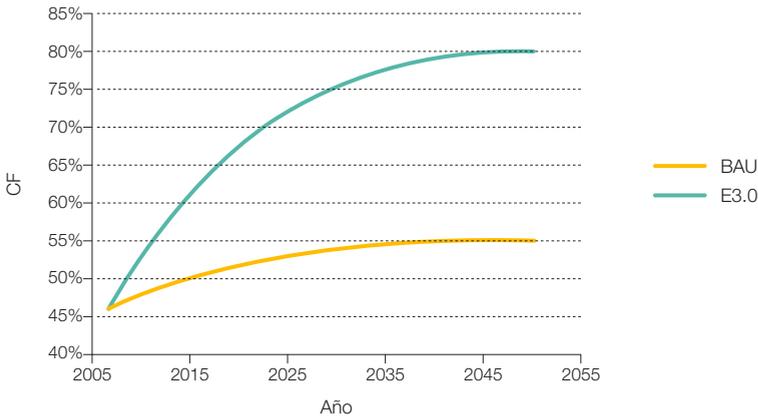
**312** Por ejemplo, actualmente no es extraño encontrarse autocares de 65 plazas transportando un solo viajero a lo largo de un trayecto mucho más largo del necesario para ajustarse a un recorrido preestablecido sin considerar la demanda real de movilidad (nadie entra en el autocar en todas esas paradas que hace el recorrido). El resultado: una gran ineficiencia energética, y una muy baja calidad del servicio de transporte (grandes tiempos de desplazamiento). Este es el contexto en el que el STI puede marcar unas grandes diferencias y propiciar una evolución en escalón.

En las figuras 124 a 126 mostramos los escenarios BAU y tecnología-E3.0 de consumo específico por vehículo, de factor de capacidad y de consumo específico por unidad de movilidad para los autocares.

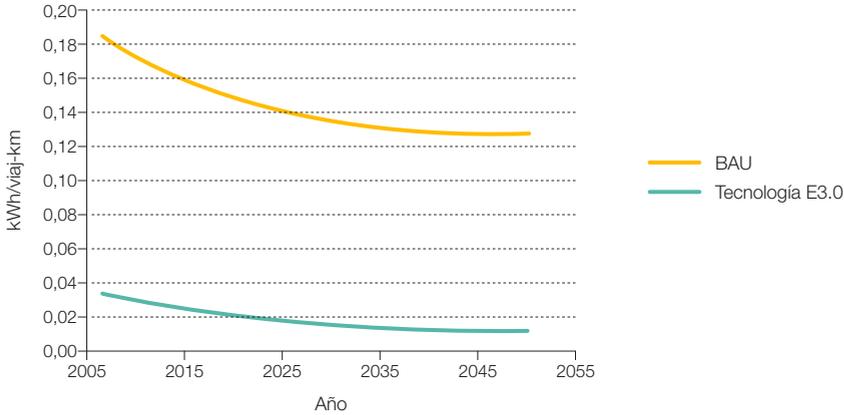
**Figura 124.** Comparativa de los escenarios de consumo específico por vehículo de los autocares para los contextos BAU y tecnología-E3.0.



**Figura 125.** Comparativa de los escenarios de factor de capacidad de los autocares para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 126.** Comparativa de los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad de los autocares para los contextos BAU y tecnología-E3.0.



### 3.6.3.4 Escenarios de transporte en autobús

Recogemos aquí los escenarios de autobús (transporte urbano de viajeros) en los contextos BAU y E3.0.

En el contexto BAU suponemos una hibridación creciente a partir del año 2014. La reducción del consumo de combustible alcanzable con la hibridación, consideramos que es menor en los autobuses que en los coches, pues actualmente ya están diseñados con más énfasis en la eficiencia.

En la tecnología E3.0 los autobuses son totalmente eléctricos<sup>313</sup>, con consumos iniciales algo superiores que el autocar debido a las condiciones de conducción urbana<sup>314</sup>, pero la reducción del consumo específico a lo largo del escenario es continua por no perseguir en estos vehículos un incremento en las prestaciones (innecesario en los ambientes urbanos).

Los CF en el contexto E3.0 son considerablemente superiores a los BAU, lo cual se

justifica por la existencia de un STI que involucra distintos tamaños de vehículo según la demanda de movilidad real.

El CF del contexto BAU lo suponemos menor en el autobús que en los autocares, por la mayor dificultad que habrá siempre de acoplar demanda con oferta, al emplear tamaños grandes estándar de autobús (sin STI).

Para el caso del autobús sí que hemos supuesto una gran hibridación del parque de vehículos en el contexto BAU, mientras que para los autocares no consideramos esta posibilidad en el desarrollo del escenario. Los motivos son los siguientes:

- Gran dinamismo de las empresas de transporte municipal, que en la actualidad ya están introduciendo muchas variantes encaminadas a sustituir el uso de los combustibles fósiles (biocombustibles, hidrógeno, GN, etc.)
- Requerimientos de reducción de la contaminación en ambientes urbanos, donde las

**313** En este informe, dentro del concepto de autobús eléctrico incluimos tranvías, trolebuses y otros vehículos colectivos eléctricos de superficie (consumos) parecidos.

**314** Bien es cierto que en los sistemas de tracción eléctrica la congestión del tráfico tiene un menor efecto sobre la eficiencia del vehículo que en los sistemas con MCI.

**Figura 127.** Autobús eléctrico. Modelo Astonbus e-city 10, de 38 asientos y 61 plazas, velocidad punta de 80 km/h, potencia nominal del motor de 80 kW, autonomía de 500 km con baterías de 230 kWh.



emisiones, más allá de su efecto global sobre el cambio climático, producen importantes impactos sobre la salud. La electrificación presenta la ventaja de eliminar totalmente la gran mayoría de estos impactos (contaminantes gaseosos, ruido), por lo que parece que tiene razones de peso para imponerse incluso en el contexto BAU.

- El modo de conducción urbano se presta mucho más a la hibridación.
- Históricamente ya existe tradición en el uso de la electricidad para cubrir el sector de la demanda de movilidad al que apunta el autobús.

Por otro lado, en la actualidad ya se encuentran ofertas comerciales de autobuses eléctricos (figura 127).

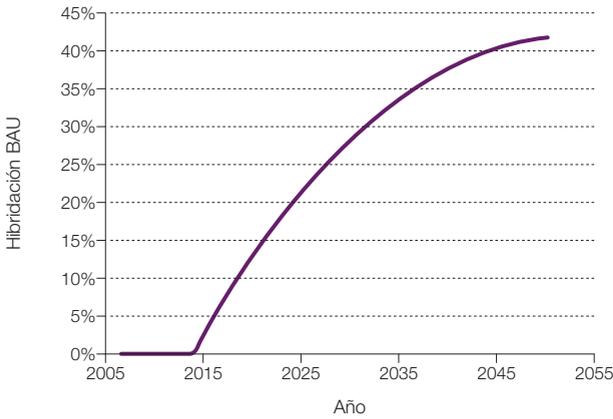
En la figura 128 mostramos el escenario asumido para la hibridación<sup>315</sup> del autobús en el contexto BAU.

Las figuras 129 a 131 recogen los escenarios de consumo energético total por unidad de

vehículo, factor de capacidad y consumo energético por unidad de movilidad, tanto para el contexto BAU como para la tecnología E3.0. Como podemos apreciar una vez más, el potencial de ahorro asociado a la tecnología E3.0 es muy elevado, tanto por la electrificación total de los vehículos como por el incremento en el CF con el que se utilizan los vehículos. Adicionalmente, la capacidad de acumulación eléctrica de las baterías de estos autobuses, junto al hecho de que el patrón de uso del parque de autobuses es muy predecible, y de que se encuentra explotado por grandes empresas que evitan la necesidad de que intervenga el agregador de la demanda, para facilitar la integración de la *Demand Side Management* (DSM) con el sistema eléctrico, proporciona grandes ventajas desde el punto de vista del funcionamiento de un sistema energético integrado.

**315** Al igual que en el caso de los coches, la hibridación la definimos en función del combustible sustituido, por tanto, los porcentajes presentados son superiores a los que se obtienen haciendo el cociente de consumo eléctrico a consumo total (debido a la mayor eficiencia de la motorización eléctrica).

**Figura 128.** Escenarios de hibridación del autobús en contexto BAU. La hibridación se define basándose en combustible sustituido, y representa el valor promedio del parque de vehículos.



**Figura 129.** Escenarios de consumo total específico por vehículo del bus en los contextos BAU y tecnología-E3.0.

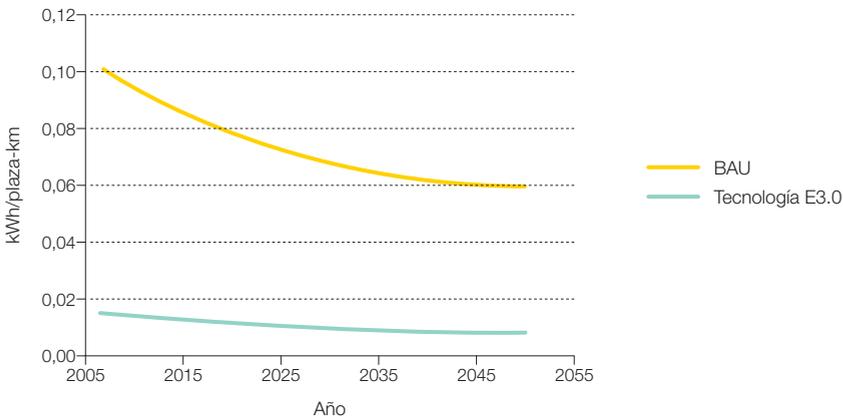


Figura 130. Escenarios de factor de capacidad del autobús en los contextos BAU y E3.0.

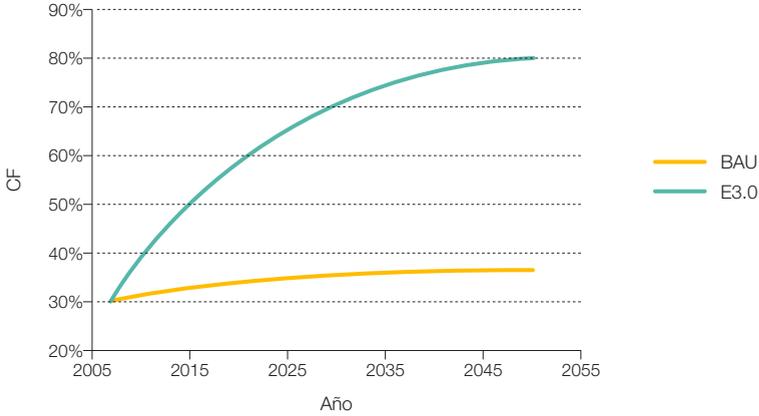
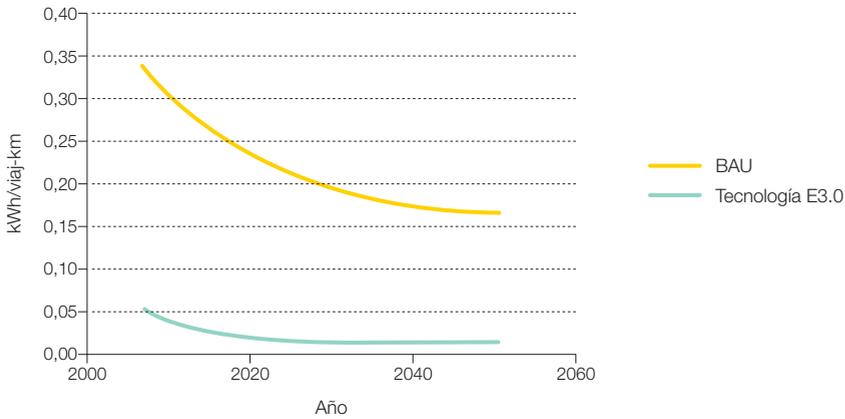


Figura 131. Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el autobús en los contextos BAU y tecnología-E3.0.



### 3.6.3.5 Escenarios de transporte de pasajeros en tren

En este punto recogemos los escenarios para transporte interurbano de viajeros por ferrocarril.

Para el caso del ferrocarril, por lo que se refiere a los consumos específicos por unidad de plaza, suponemos que los escenarios BAU y E3.0 no se diferencian en exceso: ambos acaban incorporando todo el potencial de frenado regenerativo, e implementando las mismas técnicas de conducción eficiente, reducción de peso, electrificación y mejoras técnicas.

Sin embargo, por lo que al CF se refiere, en el contexto E3.0 consideramos que es superior por la integración del tren en el STI, y por una mayor participación del tren de alta velocidad. En el contexto BAU hay una mayor participación de los trenes de pequeño recorrido y bajo CF, cuya demanda de movilidad, en el contexto E3.0 se cubre en buena medida con otro tipo de vehículos eléctricos con mayor CF.

Este modo de transporte es el que presenta un menor potencial de mejora, pues ya hace tiempo que se encuentra en la senda<sup>316</sup> de alcanzar todos los beneficios en eficiencia de la electrificación.

Otro aspecto interesante de apuntar es que los trenes, en el contexto de los escenarios aquí desarrollados, presentan consumos específicos ligeramente superiores a los de los coches y autocares eléctricos, aspecto que se ve más acentuado para los trenes de cercanías, que en condiciones BAU operan con menores CF, y además en condiciones BAU resultan considerablemente más inelásticos que estas otras opciones para cubrir una

buena parte de la demanda de movilidad. Sin embargo, en un contexto E3.0, el STI debe optimizar la infraestructura existente de medios de transporte eficientes, por lo que los otros vehículos eléctricos pasan a actuar como facilitadores de la optimización de la operación del tren, y acercan en origen y destino el tren (y particularmente el de cercanías) a la demanda de movilidad, lo cual conduce a un incremento del CF con que se opera el tren, y por tanto a una mejora de su eficiencia.

Por tanto, en un contexto E3.0 la percepción del papel que puede jugar el tren para reorientar el sector transporte hacia la sostenibilidad difiere sensiblemente de la percepción que tenemos en el contexto actual, o incluso en un escenario BAU. En efecto, con un STI y la electrificación de los otros modos de transporte, el tren pierde en gran medida su ventaja diferencial actual en términos de eficiencia, y se puede quedar con algunos de sus inconvenientes (rigidez para acoplarse a la estructura de la demanda de movilidad, dependencia de infraestructuras, gran peso, etc.). La labor del STI en el contexto E3.0 es, por tanto, la de optimizar e integrar la infraestructura existente de trenes dentro del sistema de transporte.

Por otro lado, existe otro motivo para que el tren tenga una participación importante en el contexto E3.0, debido a su capacidad de desplazar al avión en los desplazamientos de larga distancia. El tren de alta velocidad constituye la alternativa más eficiente a la movilidad aérea dentro del territorio nacional<sup>317</sup>, y esta tendencia que ya estamos experimentando con la puesta en operación de las primeras líneas de trenes de alta velocidad, pasa a ser uno de los principales valores añadidos del tren en la cobertura de la demanda de movilidad en un contexto E3.0.

**316** Si bien todavía existe en España una parte muy grande de los trenes que funcionan con combustible diésel, en las condiciones del actual sistema eléctrico el consumo específico en términos de energía primaria es parecido en ambos casos, y la vía para la electrificación total es muy directa cuando aparezcan las señales de precio adecuadas (en la actualidad, muchos de los trenes diésel están circulando bajo catenaria).

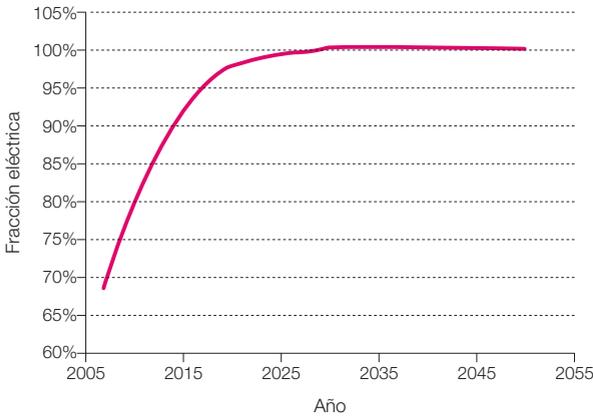
**317** E incluso a los países vecinos.

Los consumos específicos planteados representan un promedio de los trenes de alta velocidad, largo recorrido y cercanías. Asimismo, estos son consumos de energía final en el tren, e incluyen tanto la electricidad como el gasóleo. La progresiva electrificación de los trenes, que actualmente funcionan con gasóleo, es una de las responsables de la reducción de consumo específico plantada en

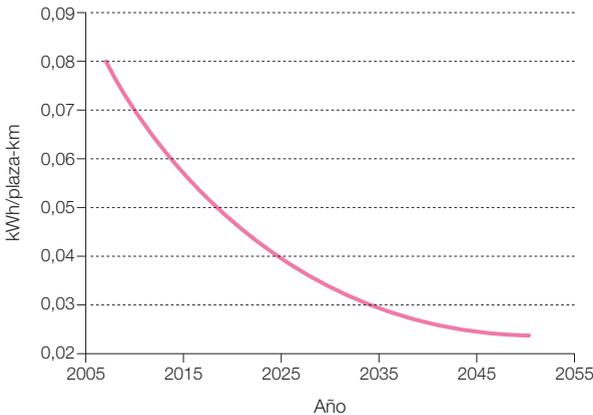
los escenarios. La electrificación asumimos que es común a los contextos BAU y E3.0.

La figura 132 nos muestra el escenario de electrificación de los ferrocarriles en los escenarios BAU y E3.0<sup>318</sup>. De acuerdo con esta creciente electrificación y a otras mejoras técnicas y de explotación, el escenario de consumo específico de los trenes por

**Figura 132.** Evolución de la fracción eléctrica de la energía consumida por los trenes: Contextos BAU & E3.0.



**Figura 133.** Consumo específico del tren por plaza disponible. Escenario común para los contextos BAU y E3.0.



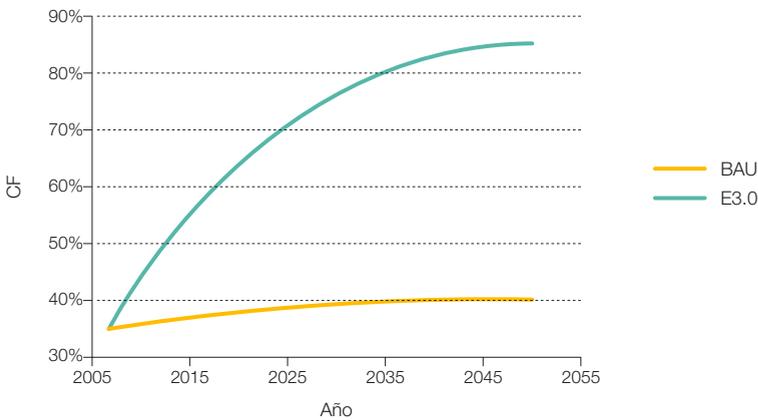
318 Nótese que ya incorpora escenario de transición.

plaza es el que presentamos en la figura 133, también común<sup>319</sup> para los contextos BAU y E3.0. Por lo que respecta a los escenarios de evolución de los CF, en la figura 134 los encontramos recogidos. Como podemos observar es en este punto donde el contexto E3.0 se distancia del BAU, por lo que al ferrocarril se refiere. El hecho de estar integrado en un STI, y el mayor peso de los trenes de alta velocidad en el contexto E3.0

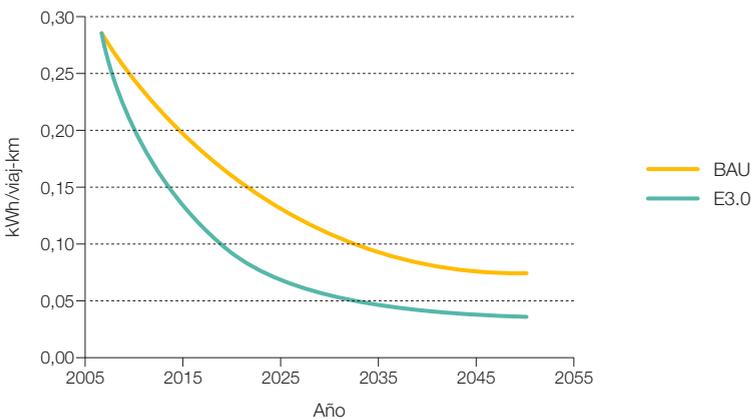
permiten progresar mucho más rápido en la mejora del CF.

Como consecuencia de todo esto, en la figura 135 encontramos los escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad. Como podemos ver, el contexto E3.0 nos proporciona una situación más favorable que el BAU, pero la diferencia es significativamente menor que para otros

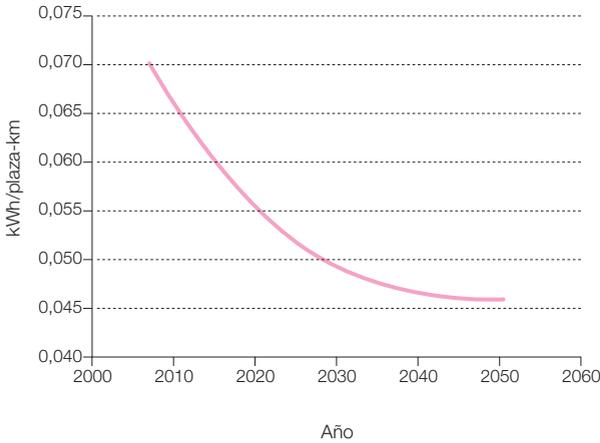
**Figura 134.** Escenarios de factor de capacidad del tren para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 135.** Escenarios de consumo específico del tren por unidad de movilidad para los contextos BAU y E3.0.



**319** El hecho de que supongamos la misma evolución del consumo específico por plaza de los trenes en los contextos BAU y E3.0 puede parecer un tanto conservador. A priori cabría esperar que en el contexto E3.0 los trenes evolucionarían más rápidamente hacia la eficiencia, por ejemplo mediante una electrificación más acelerada de las líneas actualmente operadas con gasóleo. Sin embargo, por un lado consideramos que dada la madurez del sector ferrocarril por lo que respecta a la electrificación no cabe esperar ritmos de electrificación excesivamente distintos entre los contextos BAU y E3.0. Por otro lado, en el contexto E3.0 el peso de los trenes de alta velocidad es superior al que hay en el contexto BAU, por lo que los incrementos en eficiencia diferenciales que pudiera haber en el contexto E3.0 cabe esperar que en el promediado del parque de trenes se equilibren con las mayores velocidades de los trenes en el contexto E3.0, conduciendo a consumos específicos por unidad de plaza comparables. Donde sí que cabe esperar una mayor diferenciación entre los contextos BAU y E3.0 es en los escenarios de evolución de los CF promediados del parque de trenes, mucho más favorable para el contexto E3.0 apoyado por el STI y dominado por los desplazamientos de largo recorrido y elevada velocidad.

**Figura 136.** Evolución del consumo específico del metro para los contextos BAU y E3.0.

modos de transporte. Sin embargo, el elemento diferencial que sigue dando un protagonismo importante al tren en el escenario E3.0 es su capacidad de sustituir el modo aéreo, cuyos consumos específicos son muy superiores.

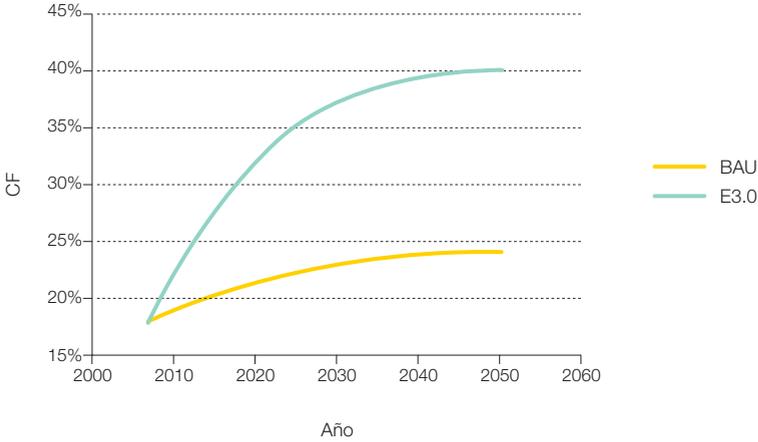
### 3.6.3.6 Escenarios de transporte en metro

La reducción potencial en el consumo del metro es inferior al del ferrocarril. Por un lado ya se encuentra totalmente electrificado, y si bien puede acceder a un mayor uso del frenado regenerativo, debido a que tiene trayectos mucho más cortos entre parada y parada que el tren, tiene menos potencial de mejora por conducción eficiente, y además, el efecto túnel empeora su aerodinámica respecto a la de un tren.

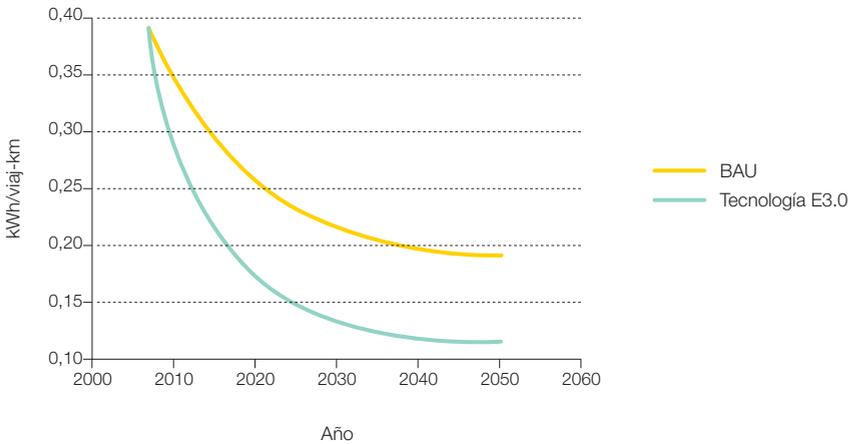
Por lo que respecta a la evolución de la tecnología, no cabe esperar tampoco grandes diferencias entre el contexto BAU y el E3.0, motivo por el que suponemos el mismo escenario para ambos, recogido en la figura 136.

La diferenciación entre el contexto E3.0 y el BAU se manifiesta en los factores de capacidad que consigue alcanzar el metro. Partiendo de los bajos factores de capacidad actuales, la mejora en el contexto BAU se ve limitada por la rigidez de este modo de transporte, mientras que en el contexto E3.0, el STI permite que el modo de carretera colectivo electrificado y los modos no motorizados actúen como una extensión del metro acercándolo en origen y destino a la demanda de movilidad, de tal forma que faciliten la mejora del aprovechamiento de esta infraestructura de transporte. La figura 137 recoge los escenarios de evolución del factor de capacidad, mientras que la figura 138 recoge los consumos por unidad de movilidad.

**Figura 137.** Evolución de los factores de capacidad del metro para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 138.** Consumo específico por unidad de movilidad para el metro en los contextos BAU y E3.0.



### 3.6.3.7 Escenarios de transporte de viajeros por avión

El avión es el modo de transporte más problemático a la hora de reconvertir el sistema de transporte hacia la sostenibilidad. En efecto, el consumo específico de este modo de transporte es el más elevado, pero al mismo tiempo satisface una demanda de movilidad para la cual hay pocas opciones de otros modos de menor consumo que la puedan cubrir. Por si esto fuera poco, tampoco tenemos alternativas al uso de combustible para operar los aviones, y además partimos de una situación en la que ya se encuentran altamente optimizados, y dejan poco margen de mejora en su eficiencia energética. En estas condiciones, tal como se apunta en (MacKay D.J.C., 2008) la única opción para que los aviones no consuman más energía es dejarlos en tierra.

Por lo que respecta al potencial de mejora de los vehículos y sus motorizaciones, los aviones son probablemente el modo de transporte en el que más se ha avanzado en lo que respecta a su eficiencia. Sigue habiendo algo de margen para la mejora en aerodinámica y motores, así como en operativas<sup>320</sup>, pero por este camino no cabe esperar avances espectaculares.

Por lo que respecta a la operación de los aviones, los modelos de negocio actuales de las compañías aéreas ya tienen las señales adecuadas para buscar optimizar su explotación. Los aviones comerciales ya vuelan a una velocidad del orden de la óptima desde el punto de vista del consumo energético, y los factores de capacidad que se alcanzan ya son de los más elevados que encontramos en los distintos modos de transporte.

Por otro lado, actualmente no se vislumbra ninguna opción de electrificación de este

modo de transporte aplicable a gran escala. En efecto, si bien ha habido alguna experiencia de vuelos de aviones eléctricos sus prestaciones eran muy inferiores a las de los aviones actuales, por lo que no podrían cubrir el nicho de mercado específico del transporte aéreo de viajeros. Asimismo, si bien existen otras opciones de transporte aéreo de menor consumo, como los dirigibles<sup>321</sup> y los ekranoplane<sup>322</sup>, ninguna de ellas proporciona las prestaciones adecuadas para suplantar al transporte aéreo en su nicho de mercado más específico: transporte rápido a larga distancia.

Por otro lado, el nicho de mercado que ocupa actualmente el avión es difícil de sustituir por otros modos de transporte. Para los desplazamientos de menor distancia, como los nacionales en España, el tren es la opción más eficiente con capacidad de suplantar al avión. Este es un proceso que en nuestro país ya se ha iniciado con la puesta en marcha de las primeras líneas de tren de alta velocidad, siendo las propias fuerzas de mercado las que permiten implementar este cambio modal, pues el tren de alta velocidad proporciona el servicio de movilidad con unos tiempos totales comparables y con mayor comodidad. Por este motivo, en el contexto E3.0 intentamos estirar al máximo las opciones del tren de alta velocidad para sustituir a los aviones, abarcando los desplazamientos peninsulares e incluso accediendo a una porción de los desplazamientos a países cercanos. Una de las mayores diferencias entre el contexto E3.0 y la realidad actual del desarrollo del tren de alta velocidad es que en el contexto E3.0, éste no se usa como excusa para dismantelar el sistema ferroviario sino para reforzarlo con un crecimiento muy ambicioso del peso del ferrocarril en el transporte de viajeros y mercancías, y en sinergia con un sistema inteligente de transporte por carretera. Sin embargo, para los desplazamientos de mayor distancia,

<sup>320</sup> Como el planeado en aterrizaje.

<sup>321</sup> Su consumo específico es como el de un tren, pero se desplaza a 80 km/h, por lo que no puede acceder al mercado de movilidad específico de los aviones.

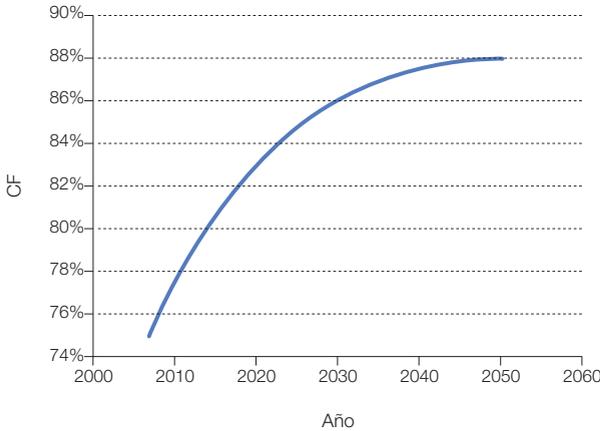
<sup>322</sup> Avión que vuela pegado al mar (efecto suelo para sustentación), que le permite alcanzar un consumo del orden de la mitad del consumo de un avión por el aire. Las limitaciones de vehículo respecto al avión convencional es no poder operar por encima de tierra firme, y a menores velocidades.

el tren (ni que sea de alta velocidad) ya no puede competir con el avión, por lo que nos queda un sector de la demanda de movilidad para el que no disponemos de alternativas más eficientes. La única opción de eficiencia con este sector de la demanda de movilidad es reducirla lo más posible, y aquí, elementos como la desmaterialización de la economía

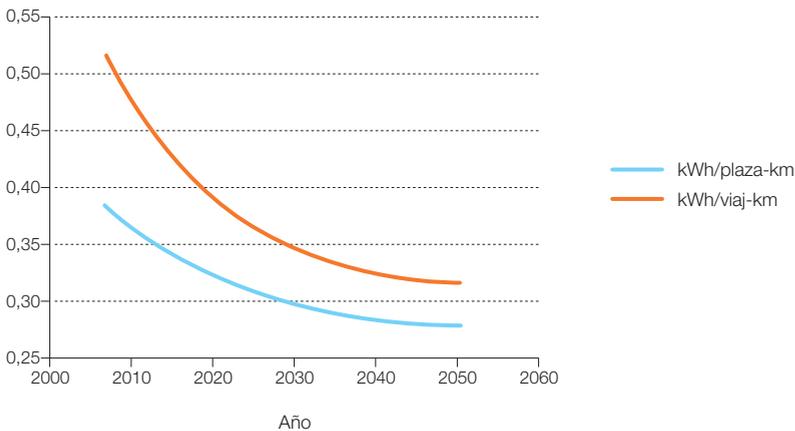
son prácticamente las únicas herramientas disponibles<sup>323</sup>.

Por tanto, la parte de la demanda asociada al modo aéreo, en un escenario E3.0, tendrá que operar con biokeroseno o con hidrógeno, con las limitaciones e ineficiencias que esto supone para el sistema energético.

**Figura 139.** Evolución del factor de capacidad del transporte aéreo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 140.** Escenarios de consumo específico y consumo por unidad de movilidad para el transporte aéreo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



**323** También cabría la opción de plantear un cambio cultural para usar menos el avión, pero este es un mecanismo de respuesta muy lento como para contar con él en el contexto de urgencia actual, y no disponemos prácticamente de ningún medio de controlar o encauzar esta evolución más allá de emitir las señales de precio adecuadas. De hecho, en la actualidad la tendencia de la demanda ha evolucionado en dirección contraria, alimentada en parte por señales de precio erróneas. Pero más allá de corregir esta ineficiencia de mercado, pocos mecanismos más nos quedan para acotar la demanda de movilidad aérea sin proporcionar un cambio modal que cubra las expectativas de la demanda.

Por ahora tampoco cabe plantearse un enfoque no basado exclusivamente en la oferta para el transporte por aire. Por tanto, de acuerdo con todo lo anterior, planteamos para el modo aéreo el mismo escenario para los contextos BAU y E3.0. En las figuras 139 y 140 recogemos los escenarios de factor de capacidad, consumo específico por plaza y consumo específico por unidad de movilidad.

### 3.6.3.8 Escenarios de transporte de viajeros por barco

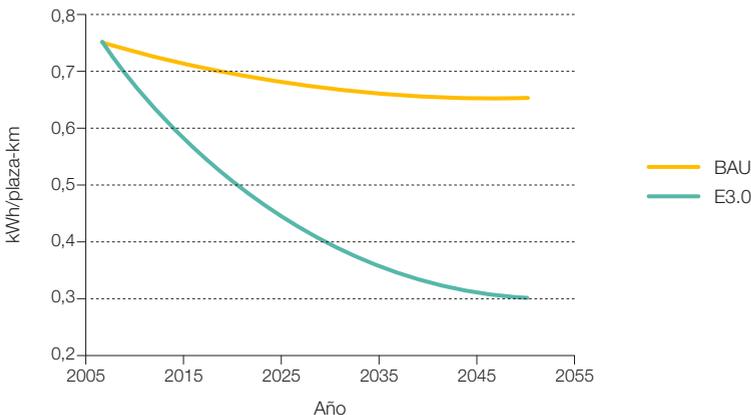
El modo marítimo para el transporte de viajeros es, en nuestro país, relativamente poco importante, y en los escenarios de demanda de movilidad que hemos elaborado, incluso en el contexto E3.0, sigue teniendo un peso relativamente pequeño.

Una visión más futurista de la que nosotros hemos planteado, podría pensar en un esquema de barcos eléctricos que recargan en electrolineras de centrales marinas de

generación con olas y eólicas, por lo que esta parte de la demanda podría llegar a electrificarse. El tema de llevar baterías pesadas<sup>324</sup> a bordo, en el caso de los barcos, es mucho menos crítico que para los aviones. Sin embargo, no hemos localizado referencias de planteamientos parecidos a éste, probablemente por la estrecha relación que guardan con el despliegue de una infraestructura de electrolineras marinas asociadas a centrales de olas y eólicas autónomas. Por tanto, no planteamos la electrificación del modo marítimo en el contexto E3.0, lo cual implica que la parte de la demanda de movilidad que deba cubrirse por mar en el contexto E3.0, al igual que en el transporte aéreo, va a poder cubrirse tan solo con biocombustibles o hidrógeno, con las consiguientes restricciones asociadas a la limitación de recursos (biomasa) e ineficiencias en el sistema energético (hidrógeno).

Para el contexto BAU planteamos un escenario tendencial acorde con las tendencias históricas, con una ligera mejora en la eficiencia de los barcos y un factor de capacidad que tiende a estabilizarse hacia el final del escenario.

**Figura 141.** Escenarios de consumo específico por unidad de plaza para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



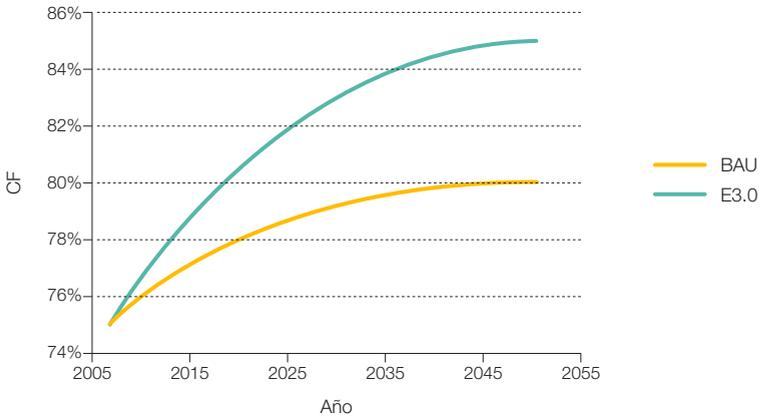
**324** Por lo que respecta al aire comprimido, sus densidades de potencia son menores que en las baterías, y sus características de descarga menos apropiadas para las condiciones de operación de los barcos (largos tiempos de descarga a potencia constante), por lo que tampoco la hemos considerado.

Para el contexto E3.0 planteamos un escenario más ambicioso, que incluye aportes renovables locales como apoyo eólico, con velas de altura de guiado automático<sup>325</sup>, y uso de barcos de menor consumo apoyado por el STI.

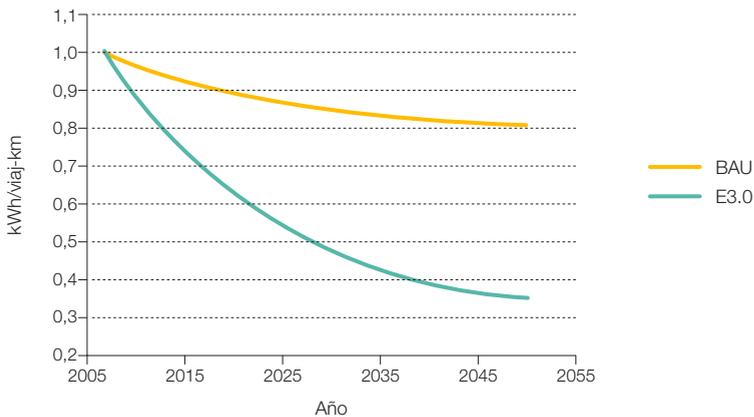
En la figura 141 mostramos la evolución del consumo específico del parque de barcos por

unidad de plaza ofertada, en la figura 142 la evolución del factor de capacidad con el que se usan los barcos, y en la figura 143 los correspondientes escenarios de consumo específico por unidad de movilidad, todo ello para los contextos BAU y E3.0<sup>326</sup>.

**Figura 142.** Escenarios de factor de capacidad para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 143.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



**325** Tecnología que ya se ha empezado a implementar, y que si bien funciona solo como apoyo a la tracción principal por motorización de combustible, también permite alcanzar ahorros importantes en consumo de combustible.

**326** En el caso del contexto E3.0, para este modo de transporte en que no preveamos la posibilidad de implementar saltos en escalón, ya incluimos en los escenarios un único escenario de transición.

### 3.6.3.9 Escenarios de transporte de mercancías por carretera urbana

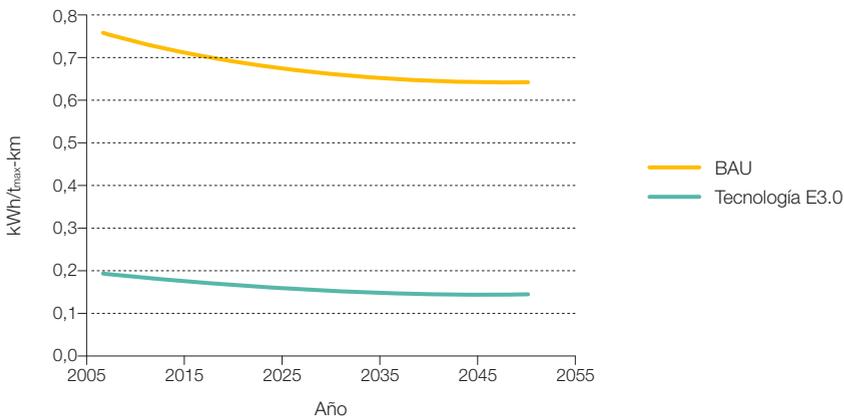
Para el caso del transporte urbano de mercancías el único modo es por carretera.

En el contexto BAU tomamos un valor medio de consumos específicos entre los correspondientes a las furgonetas y los camiones ligeros.

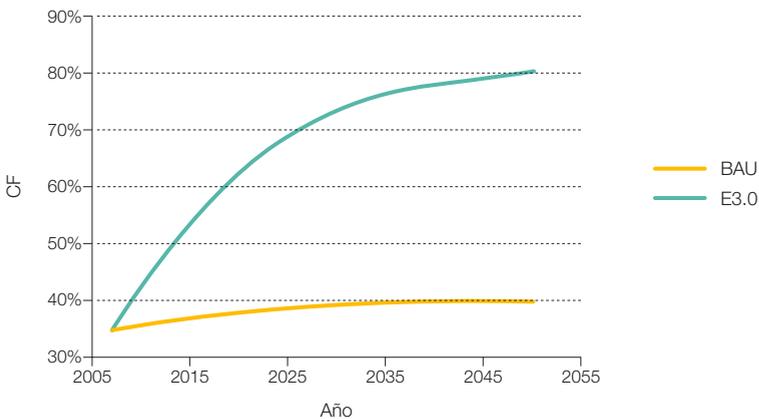
En este contexto consideramos que todos los vehículos operan con combustible, es decir, no consideramos la hibridación<sup>327</sup>.

Por lo que respecta al CF, en el contexto BAU planteamos un ligero incremento hasta acercarse al 40% (del orden de lo que encontramos en otros países). No resulta fácil alcanzar valores superiores del CF en el contexto de

**Figura 144.** Escenarios de consumo específico por capacidad de carga para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y tecnología-E3.0.

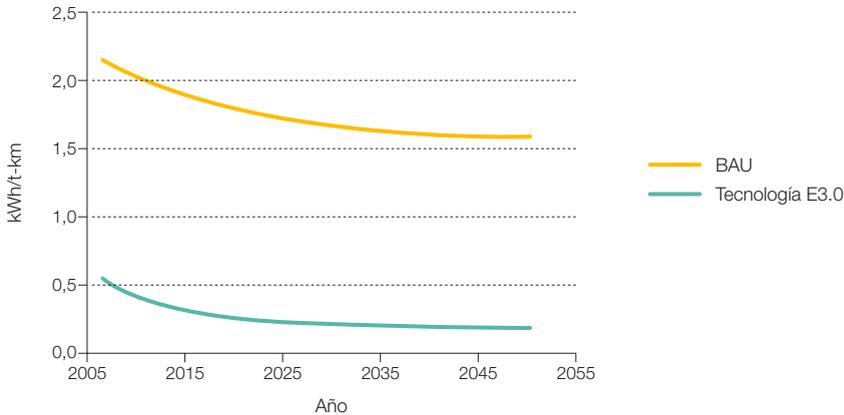


**Figura 145.** Escenarios de factor de capacidad para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y E3.0.



**327** Consideramos que para el caso del transporte urbano de mercancías, bajo un enfoque BAU de elevada atomización de las empresas de transporte de mercancías, y con los modelos de negocio actualmente implementados, resulta difícil de justificar el sobrecoste de un vehículo con doble motorización en términos de rentabilidad de negocio. En el caso de los autobuses, sí que consideramos una hibridación en el contexto BAU, pero este hecho diferencial es coherente con la evolución actual de los autobuses urbanos (buscando soluciones de baja contaminación), en relación con el reparto de mercancías (insensibles a la problemática por no estar gestionados por la empresa pública y operar con modelos de negocio que no dan cabida a estas medidas de eficiencia). Sin embargo, la aparición de una regulación específica orientada a este tipo de vehículos, o un gran incremento en el precio de los combustibles fósiles, podrían abrir la puerta a la entrada de la hibridación en este segmento de movilidad para el contexto BAU.

**Figura 146.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y tecnología-E3.0.



atomización empresarial y sin la implementación de inteligencia (smart logistics).

En el contexto E3.0, en el marco del STI tenemos vehículos eléctricos con elevado CF, por lo que tampoco diferenciamos tipologías de vehículos, dado que sus consumos específicos son del mismo orden.

En las figuras 144 a 146 encontramos los escenarios BAU y tecnología-E3.0 para el consumo específico por capacidad de carga, el factor de capacidad<sup>328</sup> y el correspondiente consumo específico por unidad de movilidad.

### 3.6.3.10 Escenarios de transporte de mercancías por avión

Para el transporte aéreo de mercancías nos encontramos en la misma situación anteriormente expuesta para el transporte aéreo de viajeros: es el modo de mayor consumo específico, se encuentra ya altamente optimizado, y en su nicho de demanda de movilidad no existen opciones para introducir un cambio modal por no proporcionar los otros modos

las características de movilidad que proporciona el transporte aéreo. Por tanto se trata de un modo problemático.

Afortunadamente, la demanda de movilidad de mercancías por avión es mucho más limitada que la de viajeros, por lo que su peso sobre el consumo energético total, y por tanto su impacto sobre los recursos de biomasa e ineficiencias asociadas a la generación de hidrógeno serán menores. Adicionalmente, esta pequeña demanda de movilidad aérea de mercancías también hace pensar que corresponde a un nicho de demanda difícil de cubrir con otras opciones de movilidad.

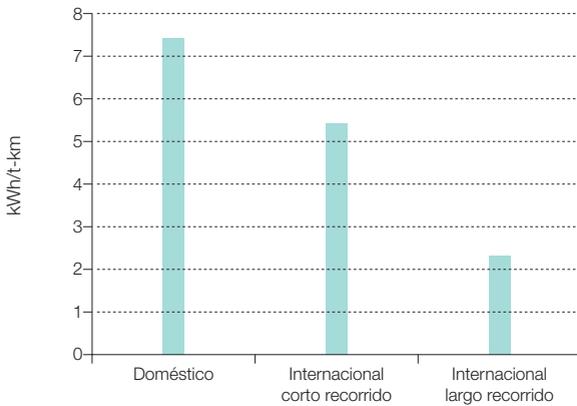
Si observamos la estructura actual de consumos específicos de este modo de transporte de mercancías, podemos ver que, con diferencia, la mayor ineficiencia está asociada al transporte a corta distancia, que es precisamente el que es susceptible de ser sustituido por otros modos de transporte (figura 147). En esta figura también podemos apreciar los elevados consumos asociados a este modo de transporte de mercancías en relación a otros modos.

<sup>328</sup> Para el caso del factor de capacidad, como en los otros modos de transporte, incorporamos ya el escenario de transición.

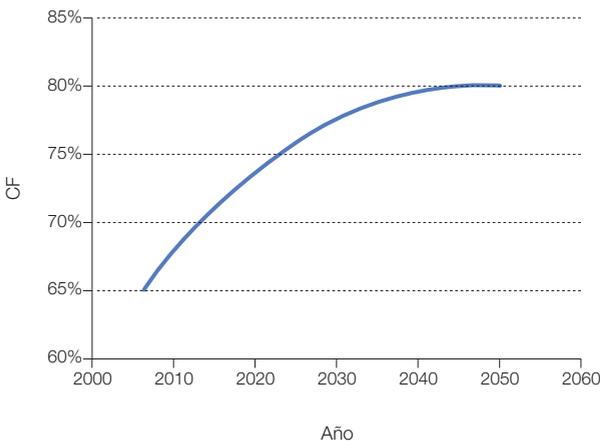
Según estos argumentos, y dada la limitada participación de este modo tanto en el contexto BAU como en el E3.0, planteamos un escenario común para ambos contextos, en los que se consigue una reducción del consumo específico tanto por mejoras técnicas, como

por mejoras de tráfico aéreo, y por limitar el uso de este modo para los desplazamiento de mayor distancia, y se implementan medidas para incrementar el factor de capacidad. En las figuras 148 y 149 presentamos los correspondientes escenarios.

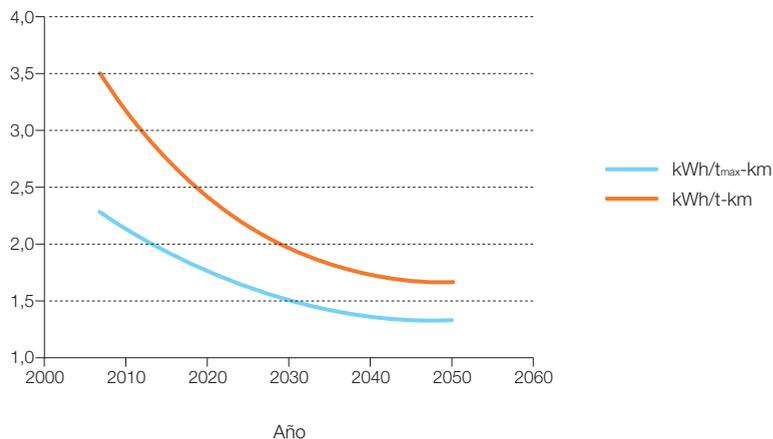
**Figura 147.** Valor actual del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por avión, según (DEFRA, 2009).



**Figura 148.** Escenario de evolución del factor de capacidad del transporte aéreo de mercancías por avión para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 149.** Escenarios de consumo específico por capacidad de carga y por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por avión, en los contextos BAU y E3.0.



### 3.6.3.11 Escenarios de transporte de mercancías por carretera interurbana

El transporte de mercancías por carretera es el modo dominante tanto en el contexto BAU como en el E3.0. Los valores del consumo específico por unidad de movilidad dependen mucho del tamaño del camión empleado (figura 150). Por estos motivos, vamos a elaborar este escenario de forma disgregada para camiones de tamaño medio (MC) y de tamaño grande (GC), para posteriormente pasar a agruparlos en un valor ponderado que represente correctamente este modo de movilidad de mercancías.

Para el contexto BAU consideramos que los camiones funcionan exclusivamente con MCI (no electrificación), y proyectamos escenarios de incremento de eficiencia de los camiones medianos y grandes a lo largo del periodo considerado. Una característica del sector transporte por carretera en el contexto BAU, es la gran atomización del sector y la ausencia de introducción de cantidades de inteligencia significativas en el mismo, lo cual limita

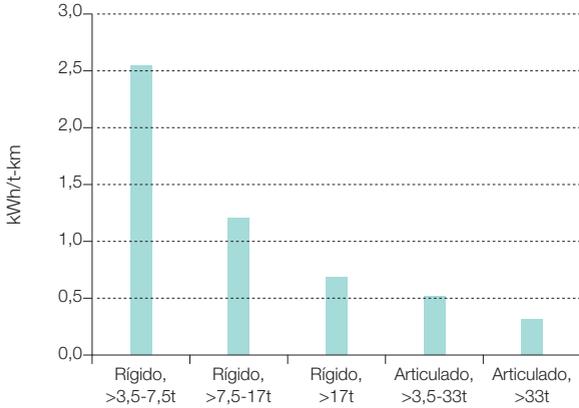
mucho la evolución de los factores de capacidad medios con los que se usa la flota de camiones. Planteamos, por tanto, para el CF unos escenarios con un ligero crecimiento a lo largo del periodo considerado, tanto para los grandes camiones como para los medianos. Por lo que respecta a la fracción de camiones medianos sobre el total de camiones de la flota planteamos un escenario en el que evoluciona de forma decreciente a lo largo del periodo considerado desde valores superiores<sup>329</sup> a la media de OCDE Europa, hacia valores del orden pero ligeramente superiores a los existentes en OCDE Europa. En conjunto, las mejoras proyectadas en el contexto BAU para el consumo específico por unidad de carga y el factor capacidad, así como el reparto entre camiones medianos y grandes, conducen a un consumo total por unidad de movilidad ligeramente inferior al proyectado por la AIE en el WEO 2007.

Para el contexto E3.0 planteamos una hibridación creciente<sup>330</sup> del parque de camiones, con ritmos superiores de electrificación para los camiones medianos que para los grandes.

**329** El hecho de considerar en el BAU una mayor fracción de camiones más pequeños que los valores promedio en OCDE Europa está asociado a la mayor atomización del sector transporte por carretera en España.

**330** La electrificación de los camiones para el transporte interurbano de mercancías requerirá del desarrollo de una infraestructura de recarga y sustitución de baterías, que especialmente para los grandes camiones llevará un tiempo para su desarrollo. De ahí que en el contexto E3.0 se planteen escenarios con hibridación creciente partiendo desde valores muy bajos. Es importante resaltar que, el desarrollo de esta red de electrolineras para los grandes camiones en el contexto de un STI, presenta importantes sinergias con el desarrollo de la red de electrolineras para el transporte de viajeros.

**Figura 150.** Valores actuales del consumo específico por unidad de movilidad de los camiones en UK según su tamaño (DEFRA, 2009).



Para el caso del transporte de mercancías dentro del contexto E3.0 sí que nos parece justificado el planteamiento de la hibridación de la flota de camiones. Por un lado, esta electrificación viene impulsada por la necesidad de reservar los biocombustibles, o el uso del hidrógeno, para aquellas aplicaciones que no tengan otra opción viable por la escasez de biomasa por un lado, y las ineficiencias del vector hidrógeno por otro. Por otro lado, dentro del contexto de un STI con un sistema logístico inteligente, la flota de camiones se usa con un CF considerablemente elevado, por lo que resultan viables mayores inversiones en los camiones, máxime cuando este cambio de motorización permite obtener ingresos adicionales por participación en el mercado eléctrico ofreciendo servicios complementarios<sup>331</sup>. La infraestructura de intercambio modal del STI permite también ubicar con mayor facilidad las electrolineras y puntos de recarga de las baterías de estos camiones eléctricos.

Para el contexto E3.0 la hibridación<sup>332</sup> planteada en estos escenarios debe entenderse a nivel de flota, donde coexisten vehículos con

MCI, híbridos, y totalmente eléctricos para aquellos trayectos que lo soporten<sup>333</sup>.

Por lo que se refiere al reparto entre camiones medianos y grandes, en el contexto E3.0 planteamos un porcentaje creciente de vehículos medianos a lo largo del escenario, justificado por la optimización de recursos a la que conduce el STI, de tal forma que los desplazamientos de camiones grandes se limitan a las situaciones en que pueden realizarse con CF elevado. En este contexto, los camiones medianos a menudo hacen solo parte de los trayectos hasta llegar a los centros modales donde se cambia a camiones grandes o al tren. Por otro lado, la diferencia de consumos entre camiones medianos y grandes, gracias a la mayor electrificación de los camiones medianos que los grandes, en el contexto E3.0 no es tan grande.

En las figuras 151 a 154 presentamos los escenarios de consumo específico a carga máxima, hibridación en el contexto E3.0, factor de capacidad y consumo específico por unidad de movilidad, tanto para los camiones medianos como para los grandes, y para

<sup>331</sup> Sin embargo, el abanico y extensión de servicios complementarios al sistema eléctrico, desde los centros de recarga de las baterías de los camiones, puede ser más limitado que el asociado a los vehículos particulares dado el elevado factor de utilización de los equipos.

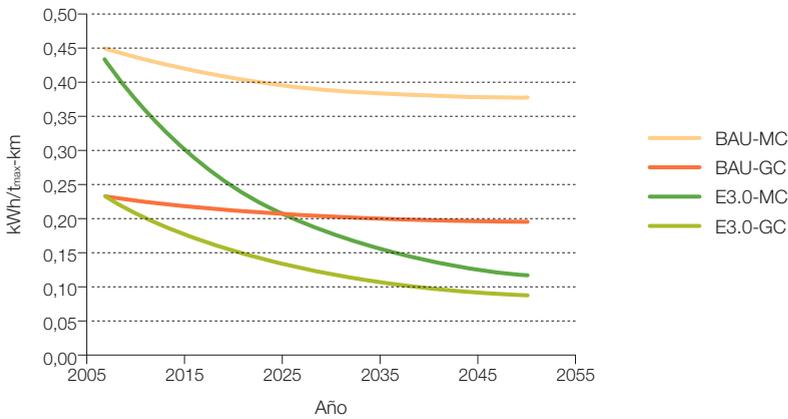
<sup>332</sup> Nótese que, a pesar de la gran hibridación planteada (90% en camiones medianos y 70% en los grandes para 2050 en términos de movilidad), el 57,8% del consumo en 2050 sigue siendo combustible (debido a la mayor eficiencia de la tracción eléctrica).

<sup>333</sup> Los cuales se irán incrementando a medida que se evolucione por el periodo de tiempo considerado en estos escenarios.

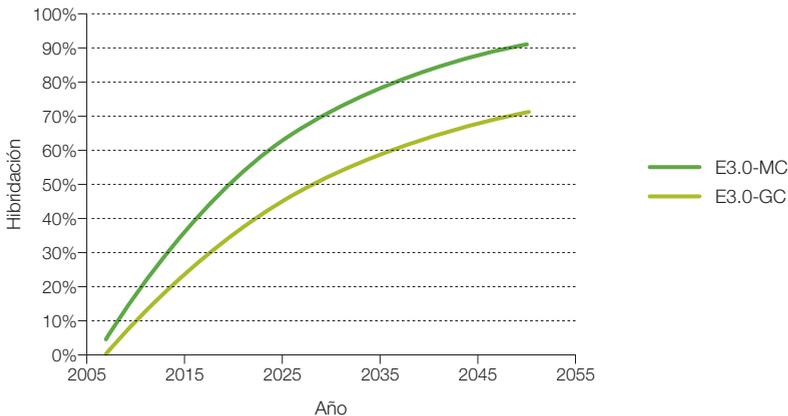
ambos contextos BAU y tecnología-E3.0. La figura 155 muestra los escenarios de participación de los camiones medianos en la flota total de camiones en términos de movilidad

cubierta, y finalmente, la figura 156 recoge los consumos específicos por unidad de movilidad del conjunto de las flotas de camiones en los contextos BAU y tecnología-E3.0.

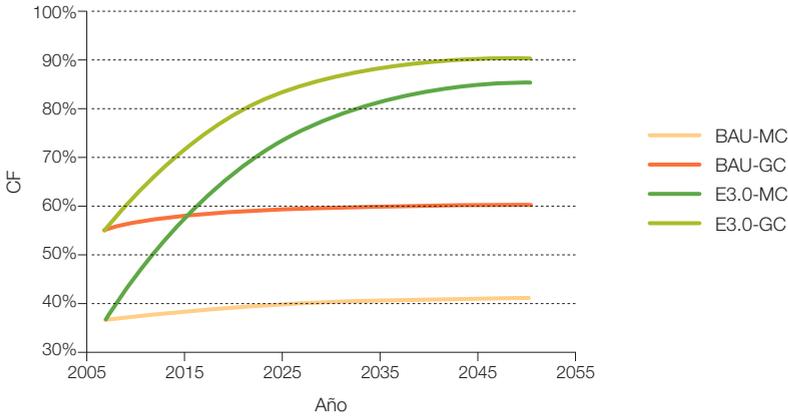
**Figura 151.** Escenarios de consumo específico por capacidad de carga para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).



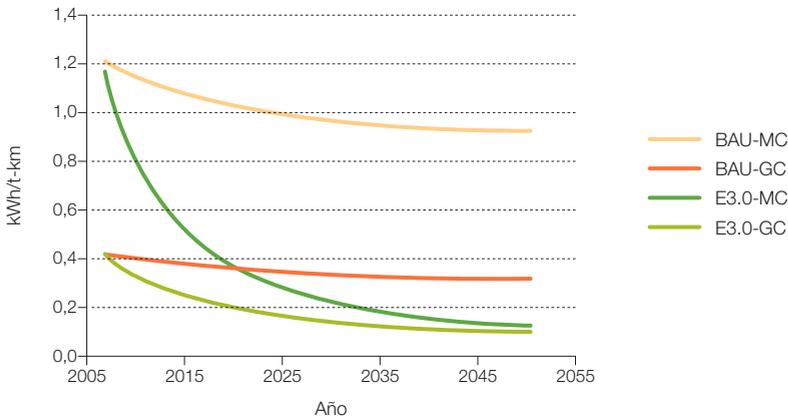
**Figura 152.** Escenarios de hibridación (en términos de cobertura de la demanda de movilidad) de los camiones medianos (MC) y grandes (GC) en el contexto E3.0.



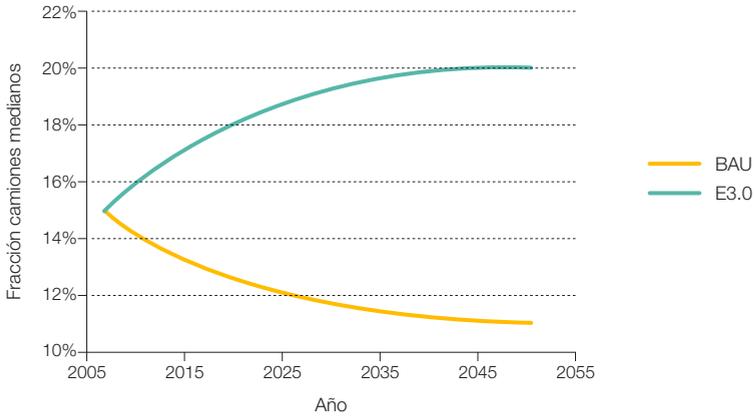
**Figura 153.** Escenarios de factor de capacidad para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).



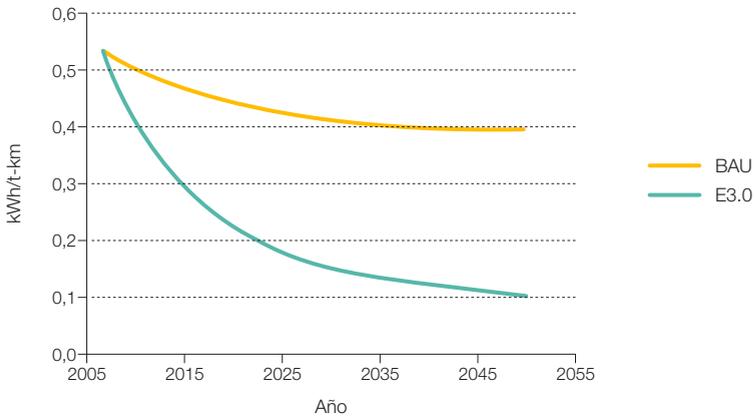
**Figura 154.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).



**Figura 155.** Escenarios de fracción de camiones medianos (en términos de movilidad) en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 156.** Escenarios de consumo específico ponderado por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por carretera en los contextos BAU y E3.0.

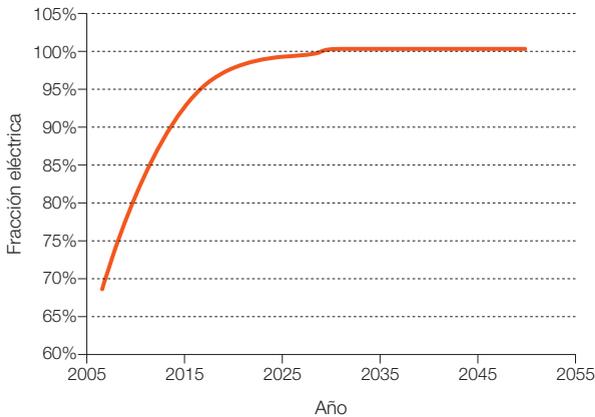


### 3.6.3.12 Escenarios de transporte de mercancías en ferrocarril

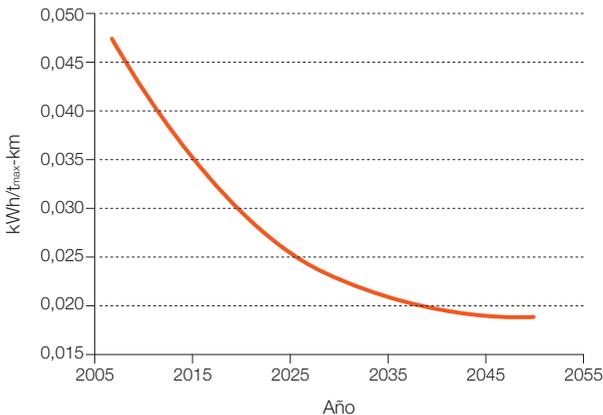
Para los escenarios relativos al transporte de mercancías por ferrocarril establecemos una aproximación parecida a la del ferrocarril para viajeros. Por un lado, suponemos un escenario de electrificación de los ferrocarriles

común a los contextos BAU y E3.0, así como un escenario de mejora de la eficiencia<sup>334</sup> de los trenes también común a ambos contextos. La diferenciación entre los contextos BAU y E3.0 proviene de las mayores tasas de mejora del factor de capacidad para el contexto E3.0, gracias a la integración del ferrocarril en un STI.

**Figura 157.** Escenario de evolución de la electrificación de los ferrocarriles, en contexto BAU y E3.0.



**Figura 158.** Escenario de evolución del consumo específico a plena carga para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.

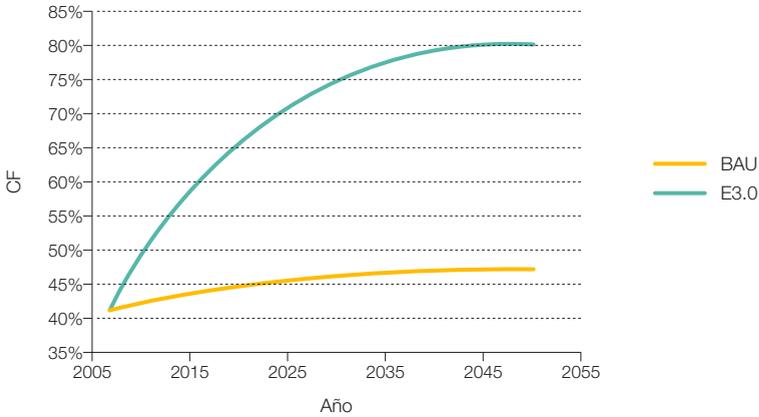


**334** La electrificación tiene un papel importante en esta mejora. Otros componentes son la mejora del aprovechamiento del frenado regenerativo, reducción del peso y otras mejoras técnicas en los ferrocarriles.

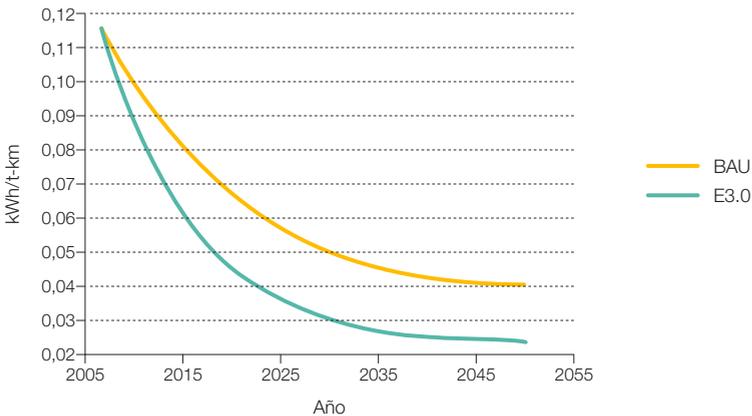
Resulta interesante resaltar que para el transporte de mercancías el ferrocarril sí que resulta más eficiente que la carretera, incluso bajo en contexto E3.0, en contra de lo que sucedía para el transporte de viajeros. La causa de esta diferencia es la menor electrificación que hemos asumido para el transporte de mercancías por carretera respecto a la que

asumimos para el transporte de pasajeros por carretera. En las figuras 157 y 158- mostramos los escenarios de electrificación y de consumo específico a plena carga. La figura 159 nos presenta los escenarios de evolución de los CF, y la figura 160 recoge los escenarios resultantes de consumo específico por unidad de movilidad.

**Figura 159.** Escenarios de evolución del factor de capacidad para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 160.** Escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.



### 3.6.3.13 Escenarios de transporte marítimo de mercancías

El consumo específico del transporte de mercancías por mar depende mucho del tipo de barco empleado, y puede oscilar entre 1.376 kWh/t-km para un Ferry hasta 0,014 kWh/t-km para un gran petrolero, pasando por 0,054 kWh/t-km para un barco mediano con contenedores. El transporte marítimo de cabotaje emplea barcos relativamente pequeños y tiene consumos específicos relativamente elevados, que no representan mejoras significativas respecto al tren. Además, el barco es menos susceptible de electrificación que el tren y en nuestro país no puede acceder a los emplazamientos interiores. Por tanto, no hay motivos para plantear un cambio modal del tren hacia el transporte marítimo. Sin embargo, por lo que respecta al transporte internacional de mercancías, el peso del transporte marítimo en nuestro país es importante.

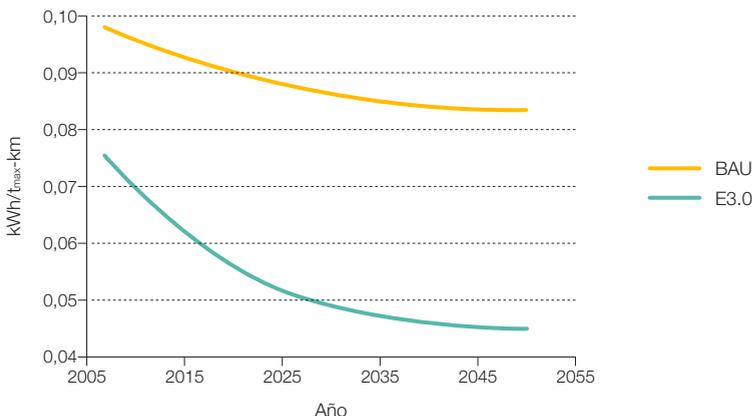
Planteamos un escenario BAU con una mejora gradual del consumo específico a plena carga, asociado tanto a mejoras técnicas de

los barcos y sus motorizaciones, como a un cierto desplazamiento hacia barcos de mayor tamaño. El CF en el contexto BAU también experimenta una ligera mejora a lo largo del escenario, y tiende a estabilizarse en los máximos valores que cabe esperar sin la entrada en escena de un STI.

Para el contexto E3.0, suponemos mayores tasas de eficiencia energética, con escalones respecto al BAU asociados a la introducción de la tracción eólica automatizada con velas de altura, y por acceder a barcos de mayor tamaño<sup>335</sup> gracias al STI. El CF también alcanza valores considerablemente superiores en el contexto E3.0 gracias a la integración en el STI.

Es de resaltar que para el transporte marítimo no hemos planteado electrificación alguna, por lo que pasa a ser otro modo de transporte para el cual la biomasa y/o el hidrógeno son las únicas alternativas. Sin embargo, no parece tan descabellado en el marco de un STI el planteamiento de considerar una red de electrolineras y puntos de recarga marítimos, alimentados con energías renovables locales

**Figura 161.** Escenarios de evolución del consumo específico a máxima carga para el transporte de mercancías por barco en los contextos BAU y tecnología-E3.0.

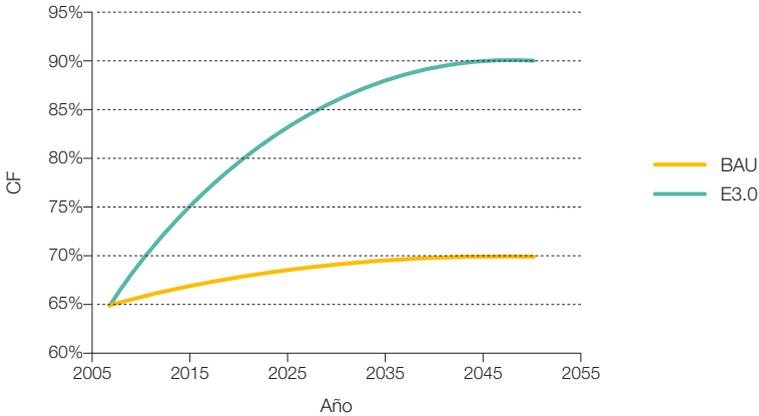


**335** Dado el pequeño alcance de este desplazamiento hacia mayores tamaños, así como a las reducciones de demanda de movilidad en el contexto E3.0, no cabe esperar que se requiriera una modificación de la infraestructura portuaria.

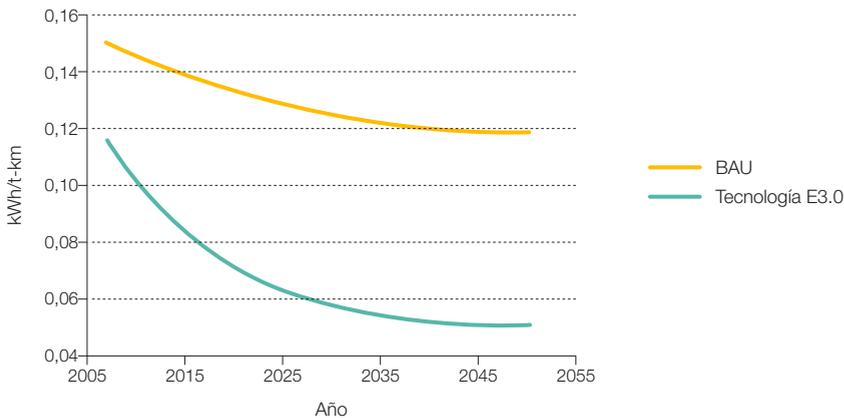
(olas y eólica), que permitieran electrificar el transporte marítimo internacional, aligerando por tanto los requerimientos de un recurso escaso como es la biomasa, o de las ineficiencias de la introducción del hidrógeno como vector energético.

En las figuras 161 a 163 mostramos los escenarios BAU y E3.0 de consumo específico a máxima carga, factor de capacidad y consumo específico por unidad de movilidad para el transporte marítimo de mercancías.

**Figura 162.** Escenarios de evolución del factor de capacidad para el transporte de mercancías por barco en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 163.** Escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por barco en los contextos BAU y tecnología E3.0.



### 3.6.3.14 Escenarios de transporte de mercancías por tubería

En la actualidad, el transporte de mercancías por tubería se ve limitado a los productos petrolíferos y al gas natural. Si bien en un principio sería posible plantear el transporte de otro tipo de mercancías (sólidas) por tubería, un repaso a los consumos específicos alcanzables por este modo de transporte no parece recomendar la impulsión de este cambio modal.

La figura 164 nos muestra la dependencia del consumo específico por unidad de movilidad con el diámetro de las conducciones para los casos de los productos petrolíferos y el gas natural, a velocidades típicas de transporte de líquidos por tuberías. Esta figura nos muestra cómo al emplear diámetros suficientemente grandes, podemos acceder a valores bajos del consumo específico mediante este modo de transporte. Sin embargo, es preciso fijarse

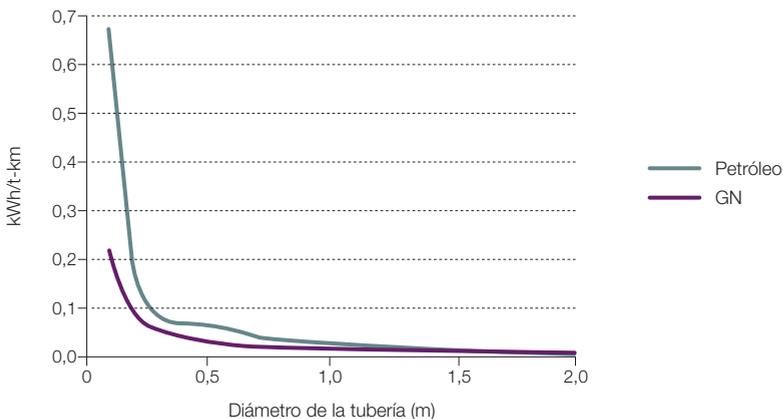
en el valor de la velocidad a la que se está transportando la mercancía en este caso, 5,4 km/h, un valor muy bajo respecto a lo que pueden ofrecer otros modos de transporte con consumos específicos comparables.

De hecho, si observamos la figura 165 en la que se evalúa el consumo específico del transporte por tubería de productos petrolíferos en función de la velocidad, vemos cómo para valores de la velocidad comparables a la de otros modos de transporte (60 km/h), el consumo específico por unidad de movilidad del modo tubería es mucho más elevado que el que proporcionan otras alternativas.

De acuerdo con lo anterior, y teniendo en cuenta que para el caso de transportar productos sólidos la eficiencia del modo tubería sería incluso inferior, parece que no tiene interés alguno explorar las posibilidades de extender la aplicación del transporte por tubería a otros tipos de mercancías para que se

**Figura 164.** Dependencia del consumo específico por unidad de movilidad con el diámetro de la tubería para los productos petrolíferos (líquidos) y el gas natural. La velocidad del fluido en las tuberías es de 5,4 km/h, y el rendimiento total del bombeo del 50%.

$v = 1,5 \text{ m/s} = 5,4 \text{ km/h}$ ;  $\eta_{\text{tot}} = 0,5$



hiciera cargo de una mayor fracción de la demanda de movilidad de mercancías.

De hecho, en el contexto actual en el cual los combustibles fósiles (petróleo y gas natural) se están agotando y las exigencias de compatibilidad con nuestro sistema climático nos requieren dejar de usar estos recursos de forma inminente, incluso antes de que se agoten, cabría preguntarse qué papel puede esperarse que desempeñe el transporte por tubería.

Por un lado, las infraestructuras para transportar estos productos ya están construidas (oleoductos y gaseoductos), y por otro lado, para los productos líquidos y gaseosos que llenen completamente las tuberías, y que, por tanto, su disponibilidad en punto de consumo sea inmediata al abrir la válvula de descarga, las bajas velocidades de transporte que permiten acceder a bajos consumos específicos por unidad de movilidad, resultan admisibles.

En este sentido, tanto en el contexto BAU (aunque más adelante en el tiempo), como en el contexto E3.0 parece que estas infraestructuras de transporte serían adecuadas para transportar combustibles derivados de la biomasa (biocombustibles, biogás, gas de gasógeno, etc.), desempeñando un papel parecido al que hacen en la actualidad.

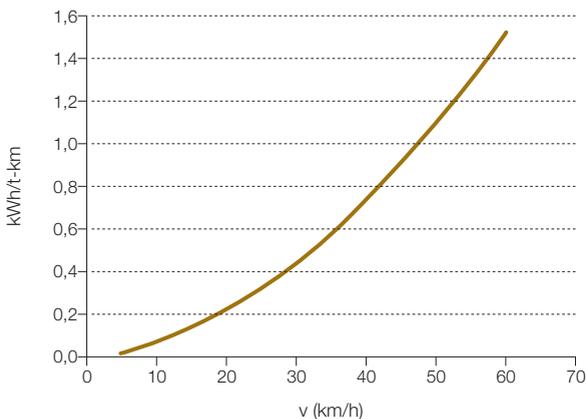
En estas condiciones, establecemos un único escenario del transporte por tubería para los contextos BAU y E3.0.

El escenario elegido plantea una progresiva reducción del consumo específico por unidad de movilidad. Los orígenes de esta mejora en eficacia son los siguientes:

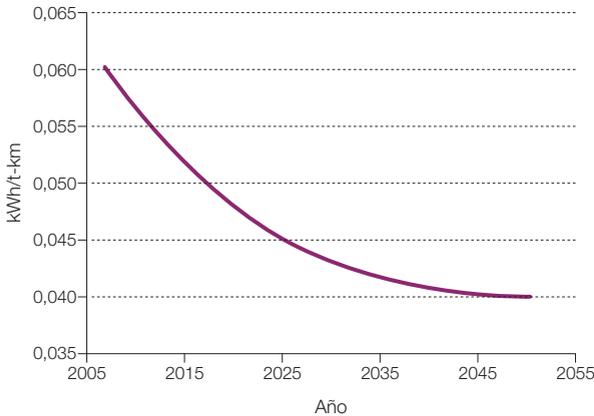
- Reducción de la rugosidad en las tuberías (materiales).
- Aumento del diámetro de las tuberías.
- Mejora en el rendimiento del bombeo.
- Reducción de la velocidad de circulación.
- Reparto del líquido y el gas.

**Figura 165.** Dependencia del consumo específico por unidad de movilidad con la velocidad del fluido para los productos petrolíferos (líquidos). El diámetro de la tubería es de 1 m, y el rendimiento total del bombeo del 50%.

$D = 1 \text{ m}$ ;  $\eta_{\text{tot}} = 50\%$ ; combustible líquido



**Figura 166.** Escenario de evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por tubería en los contextos BAU y E3.0.



Este es un modo de transporte en el que los elementos STI no tienen potencial mejora (CF no interviene por encontrarse las tuberías permanentemente llenas del producto a transportar). En la figura 166 presentamos el escenario asumido para la evolución del consumo específico por unidad de movilidad.

### 3.6.3.15 Comparativa de los consumos específicos de los distintos modos viajeros

En este punto presentamos agrupados los escenarios BAU y tecnología E3.0 de consumo específico por unidad de movilidad, para el transporte de viajeros con el fin de obtener una visión de conjunto.

La figura 167 nos muestra la evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el contexto BAU, en la que se ha considerado una tendencia decreciente para todos los modos. Dejando de lado el modo marítimo, que afortunadamente tiene un bajo peso en el reparto modal, observamos cómo los modos más dominantes (carretera y avión)

son también los de mayor consumo específico. En este contexto, en el que el potencial de mejora de estos modos dominantes es muy limitado, las opciones para intentar reducir el impacto energético del sector transporte pasan exclusivamente por buscar un cambio modal a los modos de menor consumo energético (los denominados transporte público en contexto BAU), pero en el contexto BAU el potencial de este cambio modal es muy limitado (y con tiempo de respuesta muy lento).

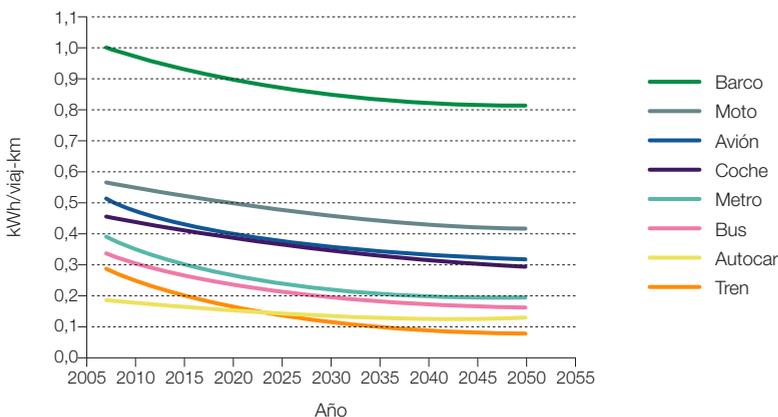
La figura 168 nos muestra el panorama de evolución de los consumos específicos de la tecnología-E3.0. Además de unas mayores tasas de reducción del consumo específico al avanzar a lo largo del escenario, podemos observar otro importante cambio cualitativo: el consumo específico de lo que en el contexto BAU denominábamos transporte por carretera particular (coches y motos), y que en el contexto E3.0 constituye uno de los componentes principales del transporte por carretera colectivo en el marco del STI, que ha reducido su consumo específico a valores del orden de los modos de transporte más eficientes (gracias a la electrificación y al incremento en el

CF que permite el STI). Dado que el peso específico de este modo de transporte es el dominante también en el contexto E3.0, esta reducción de consumo específico podría introducir una evolución en escalón del sector transporte, si los escenarios de transición tienen una tasa de cambio suficientemente elevada en la primera parte del periodo de tiempo considerado.

Por tanto, podemos concluir que una de las importantes estrategias del contexto E3.0 para poder facilitar la rápida evolución del sistema de transporte hacia una condición más sostenible, es un cambio de enfoque respecto a esos modos de movilidad que son dominantes y poco eficientes en la actualidad, pasando del enfoque convencional de pretender potenciar un cambio modal hacia otros modos más eficientes<sup>336</sup>, a reconvertir esos modos hacia la eficiencia (mecanismo de respuesta mucho más rápida y con un potencial muy superior de producir un cambio de gran magnitud).

En el contexto E3.0 el modo de transporte más problemático que permanece es el aéreo. Como vemos, por un lado es, después del modo marítimo, el modo de mayor consumo específico, pero además no permite su electrificación, por lo que sus únicas vías para operar con energías renovables son la biomasa (recurso limitado) y el hidrógeno (grandes reducciones de rendimiento). Y la reducción de demanda de movilidad por este modo mediante el traspaso a otra forma de transporte, también se encuentra limitada dadas las características diferenciales de este modo, en lo que respecta a tiempos de desplazamiento en trayectos largos. En estas condiciones, uno de los objetivos fundamentales del contexto E3.0 es limitar al mínimo los requerimientos de cobertura de movilidad por este modo, sustituyendo el avión hacia el ferrocarril en los desplazamientos interurbanos nacionales, en los que el ferrocarril puede ofrecer un servicio comparable e incluso mejor<sup>337</sup> que el modo aéreo.

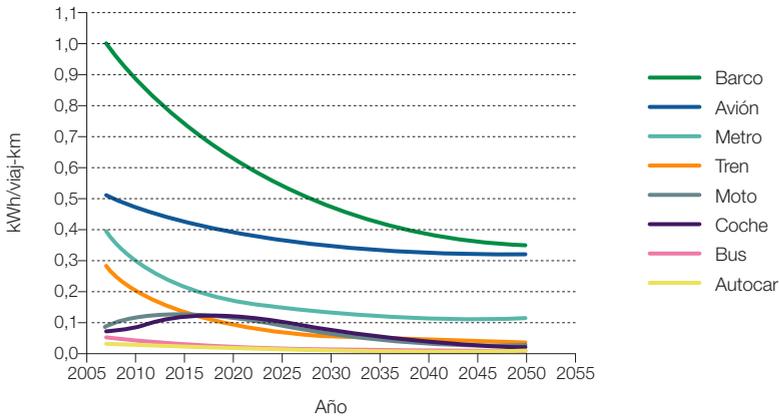
**Figura 167.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de viajeros en el contexto BAU.



**336** Lo cual constituye un mecanismo de respuesta muy lenta, e incluso de dudosa viabilidad para potenciar un cambio significativo. En el contexto E3.0, esos modos minoritarios y eficientes en el contexto BAU, se potencian más allá de sus capacidades BAU mediante la interacción sinérgica con el modo dominante en el contexto E3.0, para optimizar el aprovechamiento de las infraestructuras existentes.

**337** Dados los elevados retrasos asociados al trasvase de viajeros en los aeropuertos, y la problemática creciente asociada a la seguridad, para los desplazamientos nacionales el tren de alta velocidad ofrece actualmente un servicio de mayor calidad que el avión.

**Figura 168.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de viajeros en la tecnología E3.0.



### 3.6.3.16 Comparativa de los consumos específicos de los distintos modos mercancías

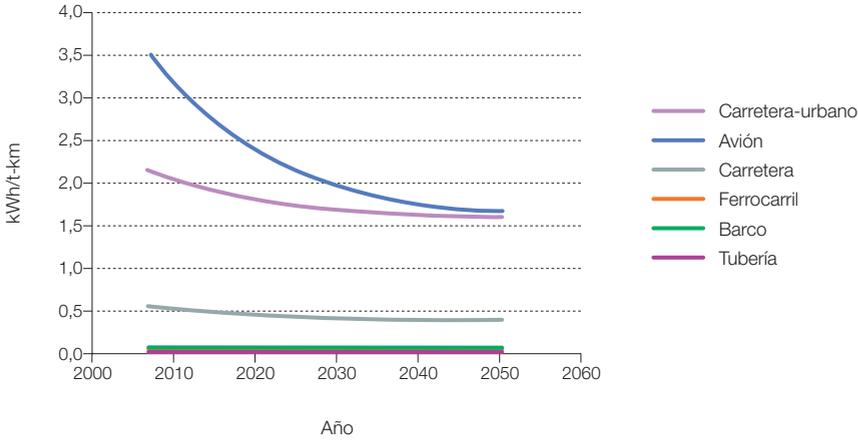
En este punto recopilamos los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad de los distintos modos para el transporte de mercancías, para los contextos BAU y E3.0, con el fin de adquirir una perspectiva de conjunto.

Las figuras 169 y 170- nos muestran los escenarios correspondientes al contexto BAU para el transporte de mercancías. El primer punto que observamos es que los modos avión y carretera-urbano presentan un consumo específico tan elevado respecto a los otros, que se requiere una ampliación de la escala del gráfico para distinguir los otros modos. El modo carretera es el de mayor consumo comparado con el resto (por detrás del avión y del carretera-urbano). El modo aéreo tiene un bajo peso modal en el contexto BAU, pero el modo carretera es con diferencia el dominante, por lo que este elevado consumo específico, y el hecho de

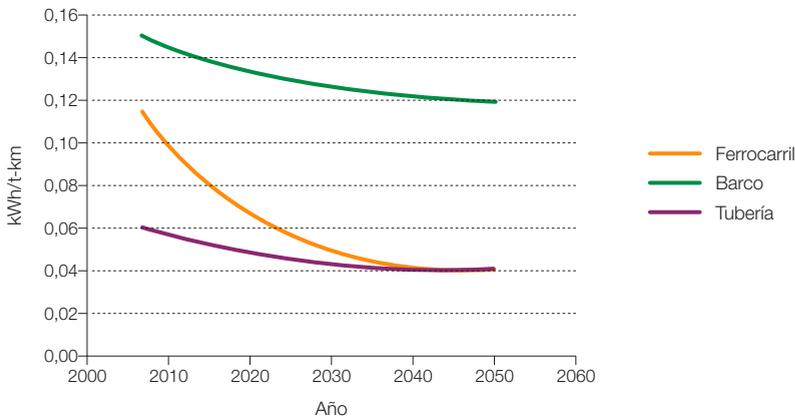
que se deba cubrir con combustibles, representan una auténtica lacra para el modo transporte en el contexto BAU. El modo ferrocarril es en el contexto BAU el de mayor eficiencia, pero a falta de introducción de inteligencia, su participación modal se ve limitada a valores muy bajos.

Respecto a la tecnología E3.0, las figuras 171 y 172 nos muestran los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos. Ahora, el único modo responsable de que tengamos que ampliar la escala es el aéreo. En efecto, el principal cambio en la tecnología E3.0 es que el consumo específico de los modos de transporte por carretera, se consiguen acortar de forma significativa, acercándolos a valores del orden de los de los modos más eficientes hacia el final del escenario. Sin embargo, el ferrocarril sigue presentando para el caso de las mercancías una eficiencia significativamente superior, motivo por el cual en el contexto E3.0 se busca favorecer un importante cambio modal hacia este modo (apoyado por el STI).

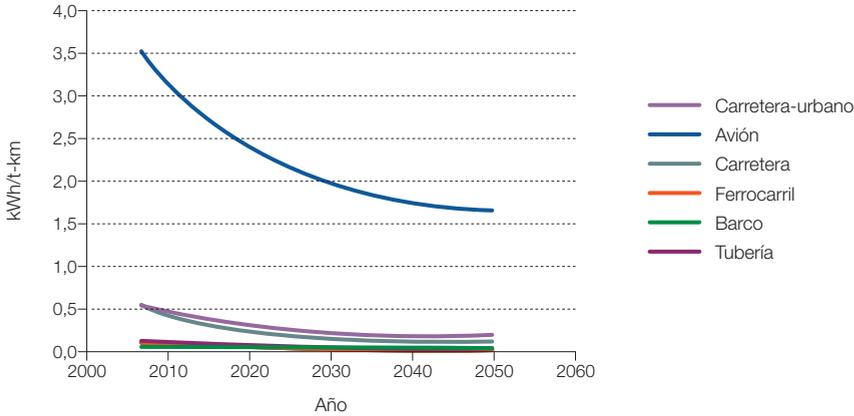
**Figura 169.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de mercancías en el contexto BAU.



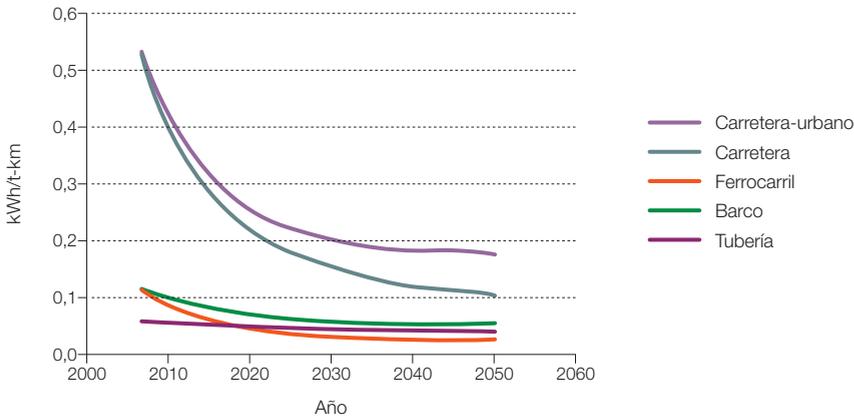
**Figura 170.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los modos de transporte de mercancías en el contexto BAU, excluyendo los modos dominantes de carretera y avión.



**Figura 171.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de mercancías de la tecnología E3.0.



**Figura 172.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los modos de transporte de mercancías de la tecnología-E3.0 excluyendo el modo dominante (avión).



### 3.6.4 Escenarios de demanda total en el sector transporte

En este punto juntamos los escenarios de demanda de movilidad, reparto modal y consumo específico modal, para configurar los escenarios de demanda energética del sector transporte. Presentamos, en primer

lugar, los resultados desagregados por movilidad de pasajeros y mercancías, para posteriormente analizar los valores totales, bajo los contextos BAU y tecnología E3.0.

Hay dos puntos que es preciso tener presente al analizar estos resultados, y cuyas implicaciones serán tratadas en apartados posteriores: