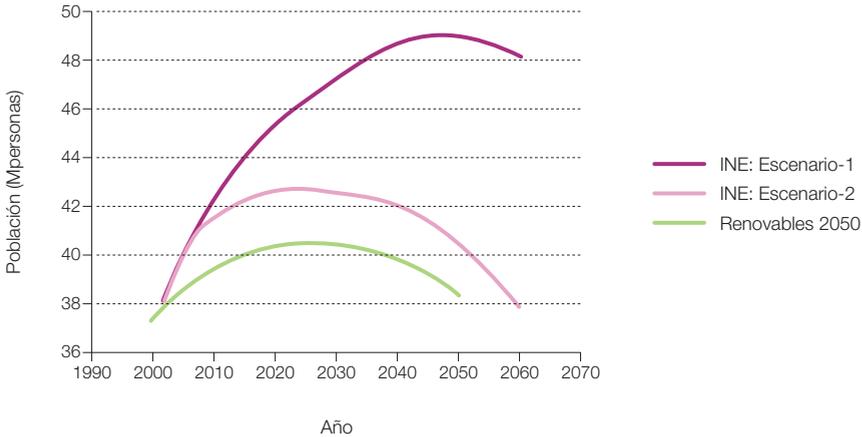


**Figura 54.** Comparación de distintos escenarios de población para la España peninsular. Los Escenarios-1 y Escenario-2 son los dos escenarios actualmente (2009) disponibles en la web del INE. El escenario denominado “Renovables 2050” es el escenario medio y más probable que proporcionaba el INE en el año 2004, y que fue el adoptado para (García Casals X., 2005).



las del escenario del INE de 2004, lo cual debe ser un reflejo directo de las elevadas tasas de inmigración que experimentamos en los primeros años del siglo XXI. A pesar de estas mayores tasas de crecimiento, los escenarios actuales del INE siguen pronosticando un pico en la población peninsular, que para el caso del escenario-1 se alcanza en torno al año 2049, es decir, hacia el final del periodo de análisis que nosotros consideramos, mientras que para el escenario-2 se alcanza en torno al año 2023 (del mismo orden que en el escenario Renovables 2050).

Es importante resaltar que en los dos últimos años (2009 y 2010), y probablemente debido a la situación de crisis económica que atravesamos, las tasas de inmigración se han reducido muy significativamente, situación que cabe esperar se extienda a los próximos años. En estas condiciones es muy probable que los escenarios actualmente previstos por el INE se corrijan a la baja durante los próximos años, y se regrese a un escenario más

parecido al que empleamos en (García Casals X., 2005).

Sin embargo, para el desarrollo de este estudio hemos adoptado, al igual que en el caso del escenario del PIB, un posicionamiento conservador<sup>221</sup>, por lo que vamos a considerar el escenario-1 del INE como el escenario poblacional en el que basaremos el desarrollo de nuestros escenarios energéticos. La población de la España peninsular para el año 2050, será, según este escenario, de 48,85 Mhab.

### 3.6 Sector transporte

Recogemos en este punto los resultados del desarrollo de los escenarios BAU y E3.0 de demanda energética en el sector transporte hasta 2050.

El sector transporte tiene ya, en la actualidad, un gran peso en la demanda de energía en

<sup>221</sup> Conservador en el sentido de que una mayor población conduce a un mayor nivel de consumo energético, y por tanto requiere emplear una mayor cantidad de recursos renovables del potencial disponible.

nuestro país. En la figura 55 presentamos la estructura de la demanda del consumo de energía primaria en España según los Energy Balances de la AIE en 2007<sup>222</sup>. En la figura 56 recogemos la evolución del consumo de energía final en el sector transporte durante los últimos años según datos Eurostat<sup>223</sup>.

Además, este sector presenta una fuerte dependencia de productos derivados del petróleo (del orden del 98%). Todo esto, junto a su carácter difuso y a la inercia asociada al tratamiento tradicional de este sector desde el lado de la oferta, hacen que en el contexto BAU resulte problemático implementar mecanismos con capacidad de reducir significativamente su demanda.

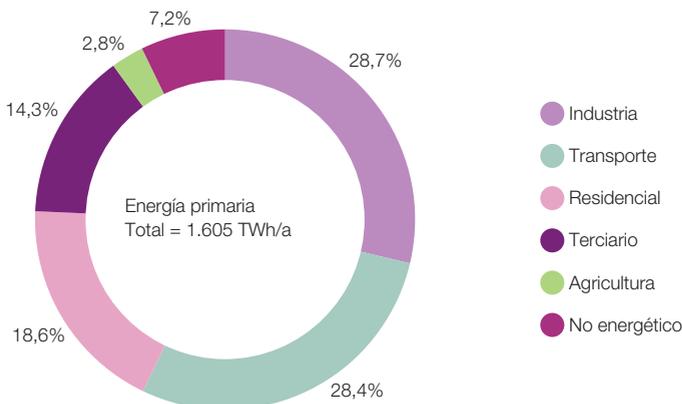
En este contexto, el escenario BAU presentado es optimista, en el que se considera que se implementan de forma activa y efectiva diversas medidas para acotar el crecimiento de la demanda energética de este sector. Sin embargo, sigue manteniendo una gran dependencia de los combustibles líquidos, y habida

cuenta de las limitaciones en disponibilidad de biomasa sostenible en nuestro país, nos sigue manteniendo con una fuerte dependencia de los combustibles fósiles y con muy poco margen para la reducción de emisiones.

Para alcanzar las evoluciones en escalón necesarias para reconducir este sector hacia la sostenibilidad en los plazos disponibles, el escenario E3.0 echa mano fundamentalmente de dos herramientas: la inteligencia mediante el despliegue de un Sistema de Transporte Inteligente (STI), y la electrificación de todos aquellos modos de transporte que lo permiten, de tal forma que el excedente de demanda a cubrir con combustibles líquidos quede suficientemente acotado como para que resulte viable acometerla mediante biocombustibles<sup>224</sup> o mediante hidrógeno de origen renovable.

Empezaremos desarrollando los escenarios de demanda de movilidad (de viajeros<sup>225</sup> y mercancías), para posteriormente proceder con los escenarios de reparto modal y de

**Figura 55.** Estructura del consumo energético en España en el año 2007. Elaborado a partir de (AIE Energy Balances 2007) pasando a términos de energía primaria los consumos eléctricos.



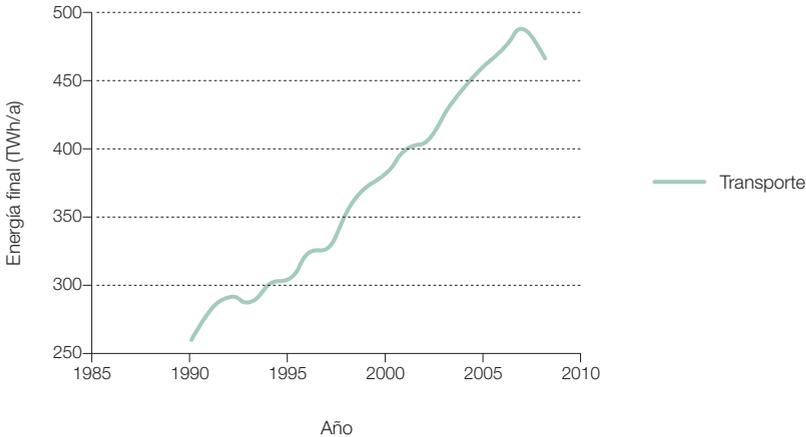
<sup>222</sup> Últimos datos disponibles en 10/10.

<sup>223</sup> Sin embargo, el consumo real del sector transporte puede incluso ir bastante más allá de los valores recogidos en estos balances, por aspectos como el alcance de los distintos modos de transporte considerados en estos resultados, entre los que merece una mención especial la contabilización del transporte internacional. Más adelante volveremos sobre estos aspectos.

<sup>224</sup> En este informe se consideran solo biomasa y biocombustibles derivados de biomasa obtenida de forma sostenible según los criterios de Greenpeace recogidos en Criterios de Greenpeace sobre bioenergía. 2008. <http://www.greenpeace.org/es/pana/reports/criterios-de-greenpeace-sobre.pdf>

<sup>225</sup> A lo largo del informe emplearemos el término "viajeros" en lugar de "pasajeros", para referirnos a las personas que demandan el servicio de movilidad.

**Figura 56.** Evolución del consumo de energía final en el sector transporte para España. Datos Eurostat.



consumo específico modal, que finalmente nos permitan generar los escenarios BAU y E3.0 de demanda energética del sector transporte.

Hemos optado por desarrollar los escenarios de demanda energética de este sector de abajo a arriba, es decir, partiendo de la demanda de servicios y deducir a partir de ella cuál es la implicación en términos de demanda de energía, por los siguientes motivos:

- Adquirir una clara conciencia del origen de esos consumos energéticos.
- Poder cuantificar los efectos de distintas opciones de eficiencia, desde los cambios modales a la introducción de nuevas tecnologías, pasando por el efecto de las medidas de inteligencia.
- Desarrollar un análisis crítico de las evaluaciones de demanda de movilidad frente a las implicaciones energéticas reconocidas de las mismas.

### 3.6.1 Escenarios demanda movilidad

En este punto desarrollamos escenarios de demanda de movilidad hasta 2050, tanto bajo una perspectiva BAU como bajo la perspectiva E3.0.

Las principales diferencias entre BAU y E3.0 a nivel de demanda de movilidad son debidas a la mayor desmaterialización<sup>226</sup> y planificación<sup>227</sup> asumidas en E3.0 respecto al BAU.

Otro aspecto importante a considerar es el tratamiento de la demanda de movilidad exterior al territorio nacional. Habitualmente esta demanda no se considera en las proyecciones del consumo energético del sector transporte.

El transporte internacional con origen o destino en España tiene relación con la actividad económica de este país, y por tanto hay tantos motivos para contabilizarlo dentro de la contabilidad energética de España, como puede haberlo para contabilizarlo dentro de la contabilidad energética del otro país origen/destino de

<sup>226</sup> Videoconferencias, teletrabajo, e-learning, e-commerce, etc.  
<sup>227</sup> Smart logistics, accesibilidad contra movilidad, incentivación de modos no demandantes de energía (bicicleta, andar, etc.).

dicho transporte. Para afrontar este reparto de responsabilidades entre país de origen y destino, de esta demanda de movilidad, a falta de más datos y considerándolo una buena aproximación, hemos procedido a cargar a España el 50% de la demanda de movilidad internacional. Este mismo criterio es el que se ha utilizado para el reparto de las emisiones de los vuelos internacionales en la reciente normativa que incorpora la aviación al Sistema Europeo de Comercio de emisiones (ETS).

### 3.6.1.1 La revisión bibliográfica demanda movilidad

Antes de iniciar la presentación de los escenarios de movilidad desarrollados, vamos a presentar parte de la información bibliográfica en la que hemos basado estos escenarios, tanto a nivel de evolución histórica de la demanda de movilidad, como de otros escenarios desarrollados en la bibliografía, con el fin de fundamentar los escenarios desarrollados.

La información bibliográfica empleada era la disponible al desarrollar estos escenarios a lo largo del año 2009, y en su gran mayoría puede encontrarse referenciada en la bibliografía de este informe.

#### *Información histórica sobre demanda de movilidad*

Como dato de partida para la elaboración de los escenarios de demanda de movilidad<sup>228</sup> hemos recopilado la información histórica disponible. Como fuentes principales de información histórica hemos empleado y procesado la información contenida en (Ministerio de Fomento, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009) y (MINECO, IDAE, 2003). En el capítulo de bibliografía pueden encontrarse otras

referencias que se han consultado para elaborar y contrastar los escenarios, entre las que cabe destacar la información disponible en Eurostat<sup>229</sup>.

A nivel general hay que resaltar la existencia de importantes carencias en la información histórica a nivel de demandas de movilidad, así como una considerable dispersión en la misma. Esto, al igual que sucede en otros sectores energéticos, es una consecuencia directa de una incompleta monitorización del sector, y constituye una importante traba para conocer su estructura, planificar medidas de ahorro y eficiencia, y realizar proyecciones futuras de su evolución y del potencial efecto de las actuaciones propuestas. En concreto, para el caso de la demanda de movilidad son notorias por su ausencia las evaluaciones de demanda de movilidad marina (viajeros y mercancías, nacional e internacional), la demanda de movilidad urbana (viajeros y mercancías), la demanda de movilidad por carretera internacional (viajeros y mercancías), y la demanda de movilidad por ferrocarril (especialmente la internacional de viajeros, pero también hay carencias en otras parcelas). De hecho, para ninguno de los modos de movilidad de viajeros y mercancías hemos conseguido recopilar información completa para la serie histórica que hemos analizado (1980-2007). De hecho, para algunos modos de transporte como es el caso del marítimo, la información histórica que se recopila<sup>230</sup> no permite realizar una valoración de la demanda de movilidad.

Esta situación en parte también responde a la dificultad de estimar y recopilar información sobre la demanda de movilidad en un planteamiento centralizado y gobernado exclusivamente desde el lado de la oferta, como es el correspondiente al sistema de transporte actual. En este contexto, muchas de las evaluaciones de demanda de movilidad

<sup>228</sup> La demanda de movilidad se mide en viajeros-km/año para pasajeros y toneladas-km/a para mercancías.

<sup>229</sup> Tanto en diversos informes referenciados, como en su web (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>). Sin embargo, hay que recalcar que los datos de movilidad recopilados en Eurostat son bastante incompletos, tanto por la ausencia de ciertos modos de transporte, como por la limitación en la dimensión de movilidad (reportar toneladas o pasajeros sin indicar a qué distancia se trasladan), como por el alcance de la movilidad recogida para algunos de ellos, que en algunos casos como la movilidad de mercancías por carretera llegan a ser tan solo del orden del 60% de los procedentes de otras referencias nacionales como el Ministerio de Fomento.

<sup>230</sup> Típicamente toneladas transportadas (sin indicar a dónde) y entradas/salidas de buques de puertos, para el modo marítimo.

corresponden a una estimación indirecta de la misma, a menudo apoyadas en encuestas, con una cobertura parcial del origen de la demanda, que introduce una considerable incertidumbre<sup>231</sup> sobre el valor real de la movilidad cubierta por el sistema de transporte, pero que por otro lado nos permite obtener una idea del potencial de la demanda de movilidad en las condiciones actuales<sup>232</sup>.

Por tanto, el primer paso para elaborar los escenarios es reconstruir la información histórica cubriendo sus carencias con distintas hipótesis. El objetivo de esta reconstrucción histórica es disponer de una tendencia de la demanda de movilidad para poder apoyar las proyecciones en los escenarios BAU y E3.0.

Entre las distintas hipótesis que se han realizado, muchas de ellas tienen un impacto pequeño sobre los resultados finales por tratarse de modos de movilidad con un peso modal muy bajo en el pasado y presente. Otras hipótesis, aquellas que afectan a los modos dominantes, pueden tener un mayor impacto sobre la demanda de movilidad, lo cual se añade a la incertidumbre ya existente en los datos históricos disponibles como consecuencia de los métodos indirectos y aproximados de estimación de la movilidad. Sin embargo, a pesar de todo ello, el procedimiento seguido nos permite disponer de una estructura interna<sup>233</sup> de la demanda de movilidad que nos permita fundamentar la proyección de escenarios.

A continuación recogemos los principales mecanismos de reconstrucción que se han empleado:

- En ferrocarril interior, aéreo interior y aéreo exterior, se realizan interpolaciones entre los datos disponibles. En aéreo exterior incluso se extrapolan los dos años finales.

- La movilidad interior por carretera se extrapola proporcionalmente a la total marcada por MINECO (IDAE, 2003) en los primeros años sin datos.
- La movilidad exterior de mercancías por carretera en los años previos al 2003 en que empieza a haber datos, la hacemos proporcional a la interior por carretera, tomando como base el año 2003 [a pesar de que tiene un valor menor (12,5%) que los años siguientes (15%)].
- Para la movilidad por carretera exterior de viajeros suponemos un% fijo de la carretera interior. En mercancías es del orden del 12%, y en viajeros suponemos del orden del 4%.
- Para la movilidad por ferrocarril exterior de viajeros suponemos la mitad del porcentaje de mercancías exterior por ferrocarril (respecto mercancías interior).
- Respecto a movilidad urbana, disponemos de históricos de 1990-1999. Extrapolamos a ambos lados.

Un punto relevante que conviene resaltar es el ajuste realizado sobre la movilidad por carretera (tanto de mercancías como de viajeros) sobre los datos disponibles en los Anuarios del Ministerio de Fomento, que se limitan a proporcionar datos relativos a la red de carreteras a lo cargo del Estado, que en términos de movilidad de vehículos puede representar del orden del 50% del total del tráfico por la red de carreteras. Los valores obtenidos concuerdan satisfactoriamente con otros datos publicados, como (CEOE, 2009) y (Ministerio de Fomento, 2009).

También merece mención especial el tratamiento de la demanda de movilidad por modo marítimo:

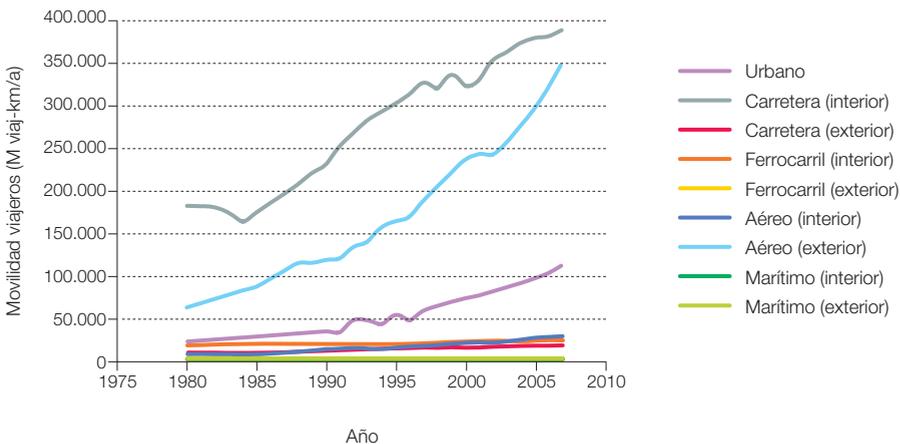
**231** Hay que resaltar la incertidumbre existente sobre la demanda de movilidad de mercancías por carretera, en la que los datos del Ministerio de Fomento se evalúan según una estimación de la tasa de carga de los camiones obtenida mediante encuestas. En torno al año 1998 se incrementó este valor lo que condujo a una discontinuidad de la estimación de la demanda de movilidad, y de hecho las encuestas de los últimos años apuntan a que todavía debería ser más elevada. Sin embargo, los valores finales de demanda de movilidad que así se obtienen conducen a unas demandas de energía superiores a las que encontramos recogidas en los balances nacionales.

**232** En efecto, tal y como veremos, las estimaciones de movilidad conducen a una demanda energética muy superior a la registrada en los balances nacionales, lo que indica que, o bien la demanda de movilidad realmente cubierta es inferior a la demanda de movilidad estimada, o bien que no todos los componentes de transporte están incorporados en los balances nacionales; o una mezcla entre ambos. En el primero y más probable de los casos la divergencia entre demanda cubierta y demanda estimada nos puede proporcionar una cuantificación del potencial real de la demanda de movilidad en la situación actual.

**233** Mediante un proceso de calibrado posterior ya ajustaremos los resultados obtenidos a los reflejados en los balances nacionales, si bien en estos últimos también puede haber una cierta incertidumbre.

- No hay nada de información de movilidad para este modo (solo viajeros o toneladas).
- En (Greenpeace, EREC, 2008) también se excluye de los escenarios el transporte internacional de productos petrolíferos, pero se menciona que llega a ser del 9% en términos energéticos.
- Para viajeros (MINECO, IDAE, 2003) apunta a un 0,36% en 2000. Hay datos para 1990, 1995-1999, pero son muy parecidos.
  - Aplicamos estos valores a la movilidad interior por barco.
  - A partir de 2000 mantenemos el porcentaje fijo.
  - En los años sin datos usamos el 0,36%.
- Estos porcentajes se aplican sobre valores de movilidad por otros modos recopilados en anuarios del Ministerio de Fomento, que no coinciden con los totales de MINECO (IDAE, 2003).
- El marítimo exterior viajeros, según MINECO (IDAE, 2003), en términos de viajeros (no viajeros-km) es del orden de 1/3 del de cabotaje. Teniendo en cuenta distancias cuatro veces superiores, suponemos un valor de 4/3 del interno.
- En MINECO (IDAE, 2003) aparece para la movilidad interurbana de mercancías un balance modal con 11,83% para marítimo. Aplicamos esto a todos los años por falta de más datos. En (Ministerio Fomento, Ministerio Medio Ambiente, abril 2009) aparecen valores algo inferiores (10,5%), pero no indica si se refiere a toneladas o t-km (idem en viajeros).
- Para mercancías exterior, podríamos obtener los porcentajes entre los años 1990 y 2000 de los datos MINECO (IDAE, 2003), basándonos en el ratio de toneladas marinas exterior a interior y suponiendo una distancia seis veces superior. Pero esto conduce a valores exagerados de la demanda de movilidad. Por tanto, y teniendo en

**Figura 57.** Evolución histórica de la demanda de movilidad de viajeros según los distintos modos de transporte: todos los modos.

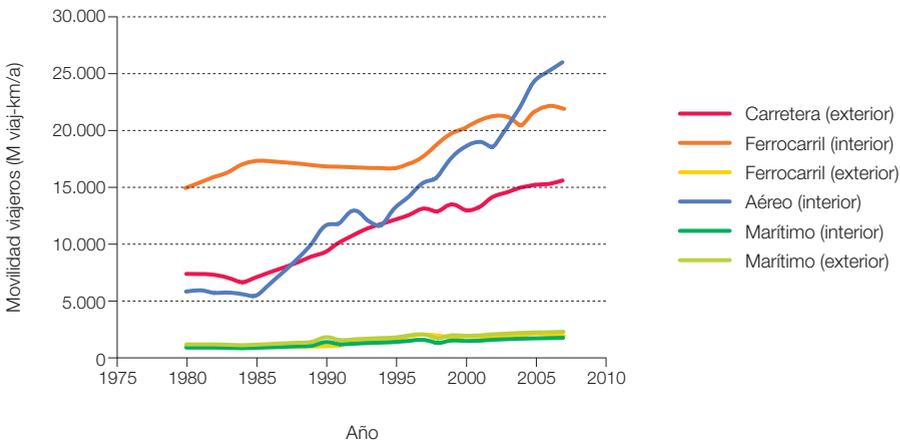


cuenta que en (Greenpeace, EREC, 2008) se valora que el transporte internacional de crudo llega a ser el 9% en términos energéticos, que tiene una intensidad energética intermedia, y que además de crudos hay otros productos transportados por

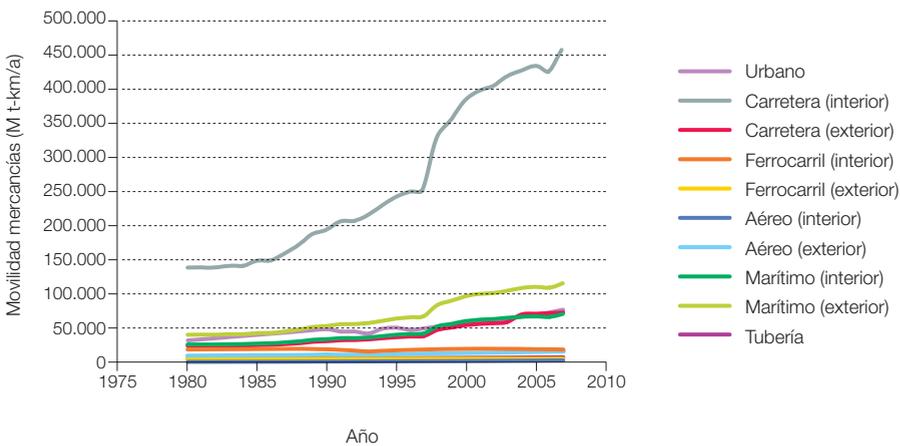
mar, suponemos que en total la movilidad para mercancías exterior asciende a un 15% del total de movilidad de mercancías.

Según estos planteamientos, la evolución histórica de la demanda de movilidad en

**Figura 58.** Evolución histórica de la demanda movilidad de viajeros excluyendo los modos dominantes (carretera interior, aéreo exterior y urbano).



**Figura 59.** Evolución histórica de la demanda de movilidad de mercancías según los distintos modos de transporte: Todos los modos.

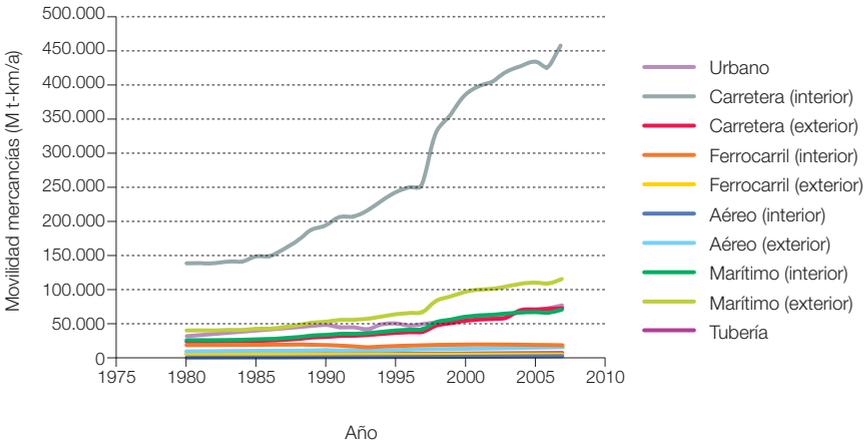


España queda tal y como se muestra en las figuras 57 a 60.

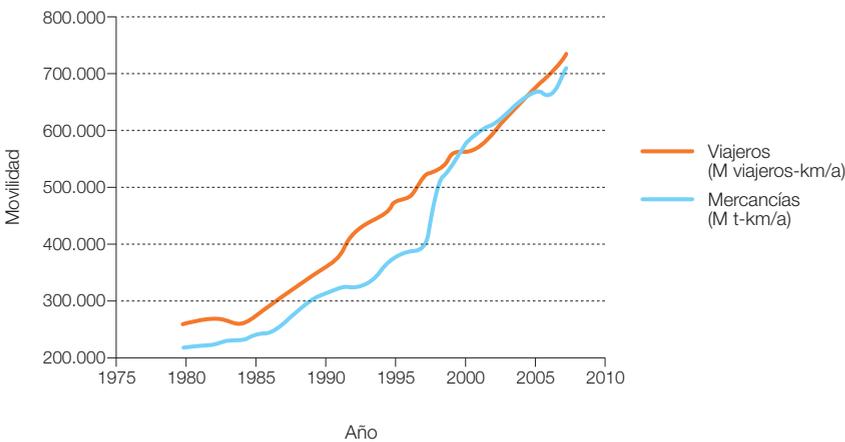
Agrupando la evolución histórica del total de movilidad de viajeros y mercancías, y reteniendo para la contabilidad energética de

España el 50% de la demanda de movilidad internacional, obtenemos para la evolución histórica de las demandas de movilidad total de viajeros y mercancías el resultado presentado en la figura 61.

**Figura 60.** Evolución histórica de demanda de movilidad de mercancías excluyendo el modo dominante (carretera interior).



**Figura 61.** Evolución histórica de la demanda de movilidad absoluta del total de viajeros y mercancías.



Respecto al histórico de mercancías, resulta sorprendente el gran incremento en demanda experimentado en 1998, que se aleja de la tendencia de los años anteriores. Esta discontinuidad es debida fundamentalmente a un gran incremento del modo carretera, que aparece reflejado en los Anuarios Estadísticos del Ministerio de Fomento, y su origen se encuentra en una revisión de tasas de carga de camiones llevada a cabo en 1998. De hecho en los últimos años (2006-2007), los Anuarios Estadísticos del Ministerio de Fomento apuntan incluso evidencias de que la tasa de carga real de los camiones podría ser superior al valor empleado para estimar la movilidad de mercancías, por lo que la movilidad histórica real de mercancías podría ser incluso más elevada que la reflejada en la figura anterior.

Los valores de demanda de movilidad reflejados en estos resultados del procesado de datos históricos difieren significativamente de algunos de los resultados que se encuentran en la literatura, en cambio se ajustan muy bien a otros resultados. Merece la pena comentar algunos casos:

- Para empezar, los resultados presentados incorporan un 50% de la movilidad exterior, motivo por el que para realizar una comparación con la mayoría de los datos presentados en la bibliografía es preciso extraer esta cantidad.
- Por lo que respecta a los datos de movilidad disponibles en Eurostat:
  - La movilidad interior de viajeros de Eurostat es del orden de un 80% de la recogida en el gráfico anterior. El motivo es que en los datos Eurostat no se incorporan algunos modos como son el aéreo y el marítimo.
  - La movilidad de mercancías registrada en Eurostat es muy inferior a la recogida en el

gráfico anterior. Los motivos son, por un lado, la ausencia de algunos modos de transporte en los datos Eurostat (marítimo y aéreo), y por otro lado que la movilidad de mercancías por carretera en Eurostat es del orden del 57% de la que nosotros hemos considerado. El motivo creemos que puede estar en el origen estadístico de los datos, pues tal y como hemos indicado anteriormente en los Anuarios del Ministerio de Fomento, el dato que aparece recogido es para la red de carreteras del estado, que maneja del orden del 50% del tráfico de vehículos<sup>234</sup>. De todos modos, el valor que nosotros hemos obtenido postprocesando la información de partida, concuerda bien con el presentado en otras referencias posteriores (Ministerio de Fomento, 2009).

- Por lo que respecta a la comparativa con los valores empleados en (MINECO, IDAE, 2003):
  - En términos de movilidad de viajeros la concordancia para el año 2006 es buena, sin embargo, en los valores históricos anteriores (año 2000) los valores reflejados en (MINECO, IDAE, 2003) son sensiblemente inferiores. Esta situación conduce a que las tasas de crecimiento empleadas para la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4) sean sensiblemente superiores a las que encontramos reflejadas en otras referencias.
  - Por lo que se refiere a la movilidad de mercancías, los valores recogidos en (MINECO, IDAE, 2003) son sensiblemente inferiores, y reflejan unas tasas de crecimiento histórico superiores. A este respecto resulta ilustrativo que la movilidad total de mercancías en el año 2000 empleada para el escenario de referencia de

<sup>234</sup> En estas condiciones, y dado que el origen de los datos de Eurostat son los que le proporciona el Ministerio de Fomento, ya que en términos de movilidad de mercancías por carretera el dato que aparece reflejado en la publicación oficial (anuario) corresponde tan solo a la red de carreteras del Estado, consideramos que es muy probable que Eurostat haya recibido tan solo este dato y lo haya asimilado al de movilidad total de mercancías por carreteras.

la E4 (MINECO, IDAE, 2003) sea inferior a la histórica interurbana reflejada en esta referencia, a lo que habría que añadir del orden de un 15% más de movilidad de mercancías urbana recogida en esta misma referencia.

De cara a confeccionar los escenarios proyectando la evolución de los valores históricos, en lugar de la demanda absoluta de movilidad presentada en la figura anterior, resulta más apropiada como indicador la demanda de movilidad específica por habitante. Empleando la evolución de la población en estos años, obtenemos el histórico de demanda de movilidad específica mostrado en la figura 62.

### Escenario de demanda de movilidad en la bibliografía

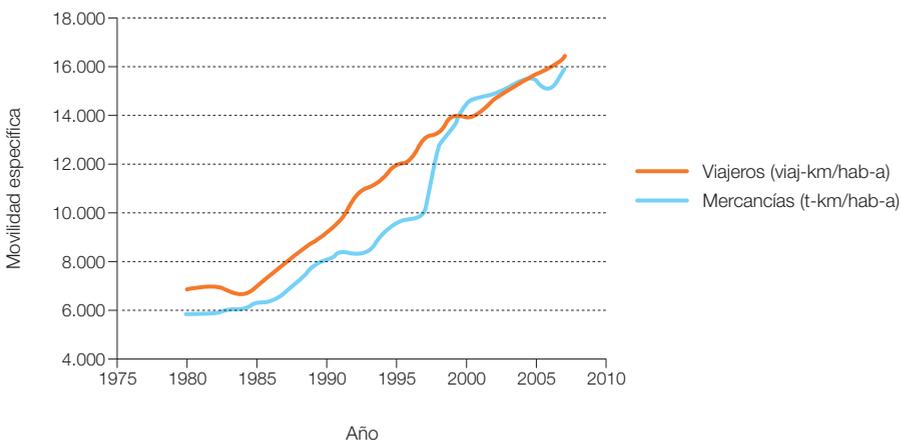
En la bibliografía referida al final de este informe se encuentran distintos escenarios de movilidad, algunos de ellos con el mismo horizonte

temporal de los escenarios que nosotros vamos a elaborar (2050). En la elaboración de nuestros escenarios hemos contrastado aspectos como las tasas de crecimiento implementadas en otros escenarios para enmarcar las hipótesis realizadas.

En la figura 63 recogemos las tasas anuales equivalentes (TAE<sup>235</sup>) de algunos de estos escenarios<sup>236</sup>, elaborados en términos de movilidad absoluta. Los valores no son directamente comparables porque los horizontes temporales son muy distintos, pero sí que apuntan a tasas de crecimiento decrecientes a medida que se prolonga el horizonte temporal (estabilización asintótica de la demanda de movilidad). Destacan en estas figuras, los valores tan elevados de las tasas de crecimiento empleadas para la E4 (MINECO, IDAE, 2003).

Los escenarios presentados en la figura anterior, referidos a movilidad absoluta, a menudo no detallan la evolución poblacional asociada. Si cruzamos estos escenarios con

**Figura 62.** Evolución histórica de la demanda de movilidad específica total de viajeros y mercancías.



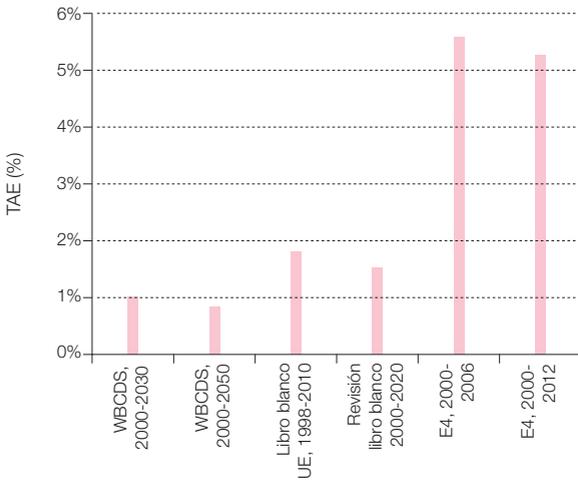
**235** TAE: Tasa de crecimiento anual que mantenida constante a lo largo del periodo considerado conduce al mismo crecimiento total.

**236** Todos ellos referidos al ámbito de OCDE-Europa, UE-15 o España.

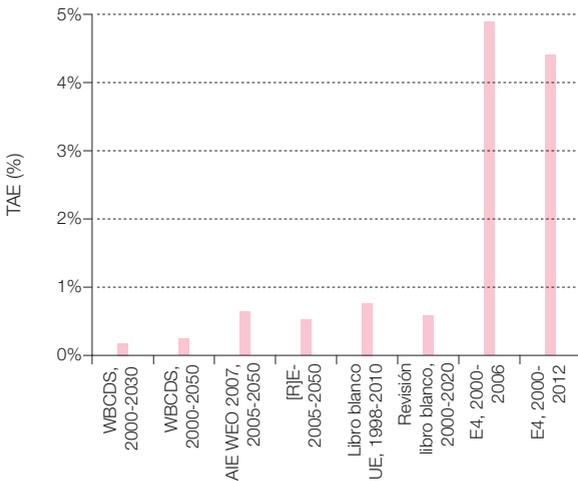
el escenario de población que hemos seleccionado nosotros<sup>237</sup> para convertirlos en escenarios de población específica, y adicionalmente le añadimos otros escenarios en

términos de movilidad específica que se encuentran en la bibliografía, obtenemos el resultado presentado en la figura 64. Una vez más podemos observar cómo, a pesar de la

**Figura 63.** Recopilación de tasas anuales equivalentes (TAE) de distintos escenarios de demanda de movilidad absoluta de viajeros.



**Figura 64.** Recopilación de tasas anuales equivalentes (TAE) de distintos escenarios de demanda de movilidad específica de viajeros.

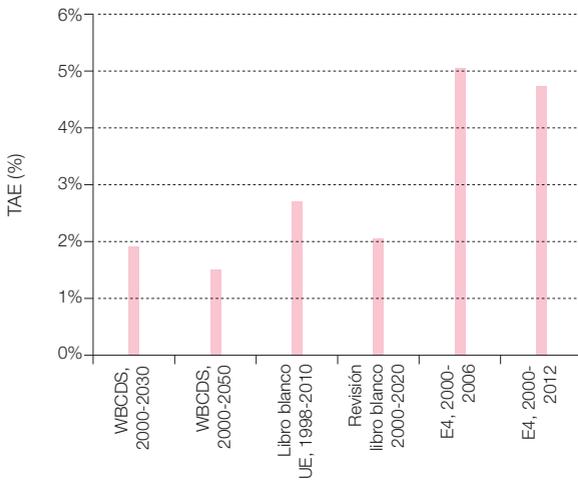


**237** Lo cual puede presentar un margen de error significativo, puesto que los escenarios poblacionales empleados en estas referencias, en caso de haber sido tenidos en consideración para elaborar el escenario de demanda de movilidad absoluta, muy probablemente presentan un escenario poblacional inferior al que nosotros estamos empleando.

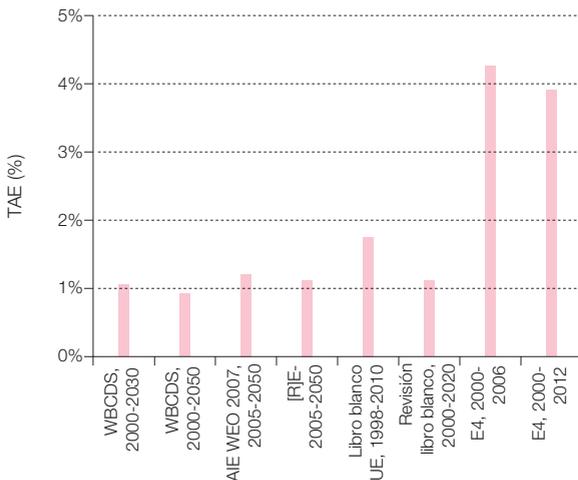
falta de homogeneidad entre los distintos escenarios, hay una clara tendencia a plantear tasas de crecimiento decrecientes con el tiempo, lo que conduce a la estabilización

de la demanda de movilidad más allá del año 2050. Por lo que respecta a la movilidad de mercancías, en las figuras 65 y 66 recogemos las TAE correspondientes a distintas

**Figura 65.** Recopilación de TAE de distintos escenarios de demanda de movilidad absoluta de mercancías.



**Figura 66.** Recopilación de TAE de distintos escenarios de demanda de movilidad específica de mercancías.



referencias, en términos absolutos y relativos, con el mismo planteamiento que para el caso de la movilidad de viajeros anteriormente presentado.

### 3.6.1.2 Desarrollo escenarios demanda movilidad

En este punto desarrollamos los escenarios de la demanda de movilidad para los contextos BAU y E3.0.

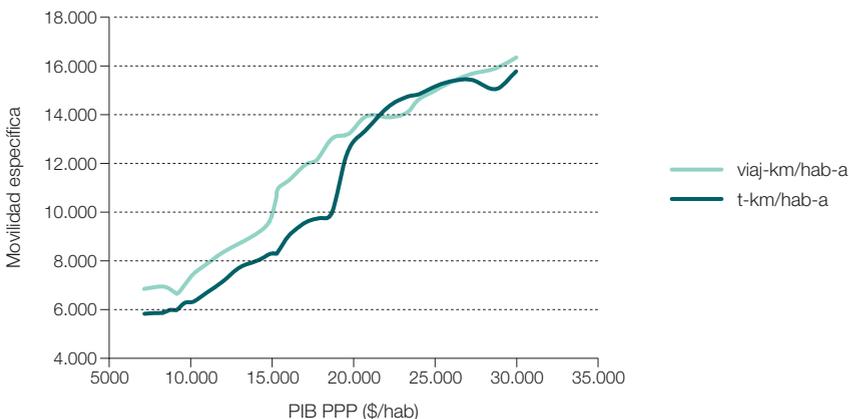
#### Correlación de la demanda de movilidad con el PIB

El PIB es una variable que a menudo se suele emplear para confeccionar escenarios desde una perspectiva macro. Si tomamos como referencia el escenario de PIB que presentamos anteriormente, es posible obtener una primera estimación de la proyección de las demandas de movilidad BAU. En este punto exploramos estos aspectos.

En primera instancia procedemos a analizar la correlación histórica del PIB con la demanda de movilidad en España. Empleando el PIB PPP<sup>238</sup>, tal y como nos muestra la figura 67, se obtiene una buena correlación con la movilidad específica.

Estos resultados históricos ya nos muestran un cierto desacoplamiento entre el crecimiento de la demanda de transporte, y el crecimiento económico por la tendencia de pendiente decreciente en los gráficos anteriores. En el caso de la movilidad de viajeros esto concuerda con la información disponible a nivel de UE según (EEA, transport at a cross road), pero para mercancías no concuerda. Esto a su vez puede insinuar que el crecimiento de la demanda de movilidad por carretera haya sido realmente superior<sup>239</sup> al histórico que nosotros hemos empleado (Anuarios Estadísticos Ministerio Fomento), lo cual también se insinúa en los Anuarios del Ministerio de Fomento al indicar que las tasas de carga en camiones pueden ser superiores a lo asumido para estimar la movilidad de mercancías<sup>240</sup>.

Figura 67. Correlación entre la demanda de movilidad específica y del PIB PPP.



<sup>238</sup> Purchasing Power Parity.

<sup>239</sup> Sin embargo veremos más adelante que estas demandas de movilidad en el año 2007 ya conducen a un consumo energético superior al de los balances nacionales, por lo que mayores valores de la demanda de movilidad aumentan la divergencia con los resultados a nivel energético.

<sup>240</sup> Cita del Anuario de 2007 (pág. 216): La cifra empleada como carga media de los camiones es la obtenida en la Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías del año 2007 (10,62 t). Según un estudio de Básculas Dinámicas realizado por la D.G.C. y el CEDEX esta carga podría ascender a 12,96 T.

**Escenarios de demanda de movilidad de viajeros y mercancías**

Del análisis del punto anterior, sacamos las siguientes conclusiones de cara a la elaboración de los escenarios BAU de demanda de movilidad:

- Para la demanda de movilidad de viajeros elegimos como escenario BAU el correspondiente para emplear un ajuste logarítmico de la dependencia histórica de movilidad con PIB PPP sobre el escenario de evolución del PIB PPP anteriormente presentado. Esta dependencia logarítmica se ajusta bien a las tendencias actuales en la EU, donde ya se observa un desacoplamiento entre crecimiento PIB y la demanda movilidad.
- Para la demanda de movilidad de mercancías elegimos como escenario BAU un ajuste potencial de la dependencia histórica de movilidad con PIB PPP sobre el escenario de evolución del PIB PPP anteriormente presentado, por el menor desacoplamiento

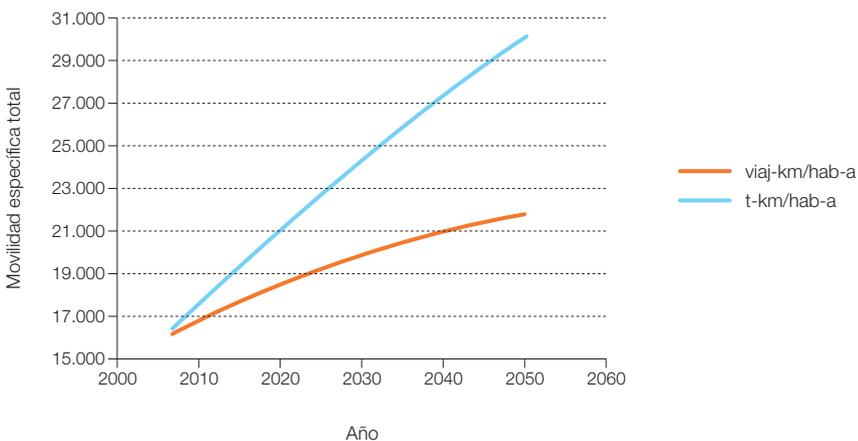
que cabe esperar en el caso de la movilidad de mercancías con el PIB PPP.

Los escenarios resultantes de demanda de movilidad BAU son los que presentamos en la figura 68.

Como podemos observar, los escenarios de movilidad resultantes presentan tasas crecientes en todo el periodo temporal considerado, sin mostrar tendencias significativas de saturación (especialmente el de mercancías), por lo que a partir del año 2050 seguirían creciendo de forma significativa.

Es preciso recordar aquí que el escenario BAU de crecimiento del PIB que hemos empleado para elaborar los escenarios de demandas de movilidad tiene tasas de crecimiento muy elevadas a la vista de necesidades de contracción y convergencia: el nivel de saturación al que conduce es de 100.000 \$/hab., casi el doble del valor de la economía actual de mayor PIB (Luxemburgo con 60.000 \$/hab.), cuyo valor alcanzamos en 2050.

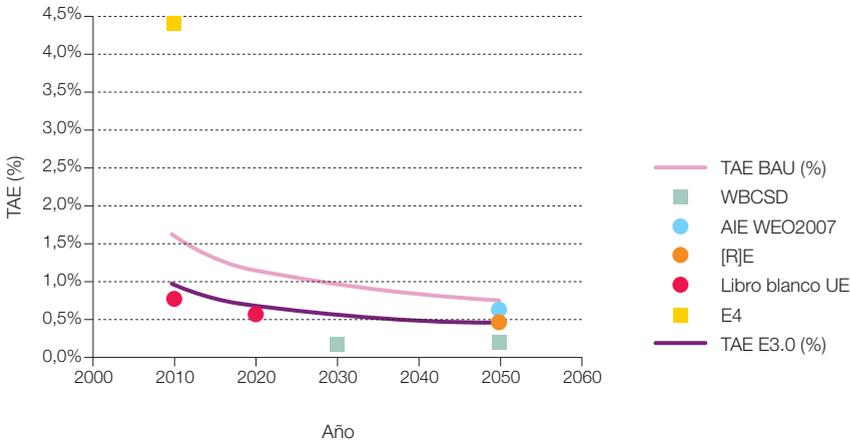
**Figura 68.** Escenarios BAU de movilidad específica de viajeros y mercancías.



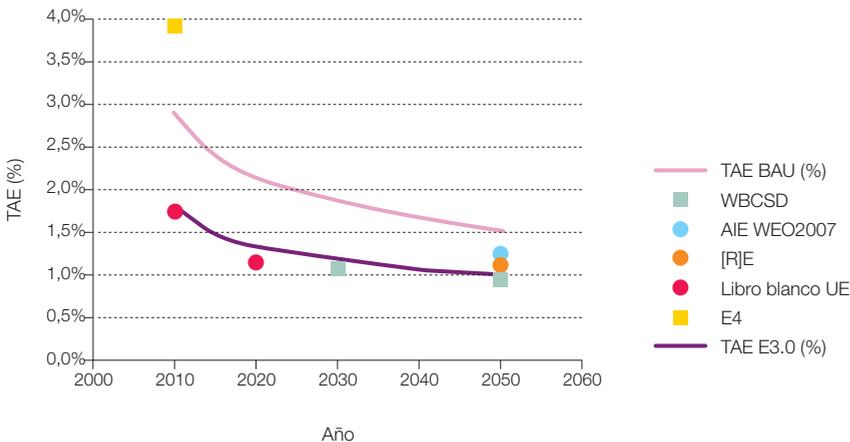
A modo de referencia, en las figuras 69 y 70 mostramos la evolución de la TAE de nuestros escenarios (el BAU y el E3.0 que posteriormente presentaremos), comparadas con las de otros escenarios referenciados en la bibliografía de este estudio. Como podemos observar, exceptuando los valores

del escenario de la E4<sup>241</sup>, las tasas de crecimiento asumidas en los escenarios de demanda de movilidad aquí desarrollados se encuentran bastante en línea con los de las otras referencias. Esto es especialmente cierto para el escenario E3.0, siendo el escenario BAU más conservador.

**Figura 69.** Evolución de la TAE de crecimiento del escenario de demanda de movilidad de viajeros comparada con las resultantes de otros escenarios de la bibliografía.



**Figura 70.** Evolución de la TAE de crecimiento del escenario de demanda de movilidad de mercancías comparada con las resultantes de otros escenarios de la bibliografía



<sup>241</sup> Que como en otros aspectos casi se sale del gráfico.

Una vez elaborado el escenario BAU de demanda de movilidad, pasamos a elaborar el escenario E3.0 de movilidad tomando como punto de partida el escenario BAU.

Existen argumentos para considerar que en un escenario de eficiencia la demanda de movilidad puede verse significativamente reducida respecto a la demanda BAU. Veamos algunos de ellos:

- Desmaterialización<sup>242</sup> de la economía:
- Videoconferencias: el 30% del transporte de viajeros por avión y tren es debido a viajes de negocios, y un 30% de éstos se pueden eliminar con videoconferencias (The Climate Group, 2008). En estas condiciones cabe esperar una reducción del 9% del transporte de viajeros por avión y tren, que constituyen el 43,5% de la movilidad total en 2007, lo que implica una reducción del 3,9% de la movilidad total de viajeros.
- Teletrabajo: la movilidad de coches por motivos laborales decrece un 80% como consecuencia del teletrabajo, y por el contrario cabe esperar que dicha movilidad crezca un 20% por motivos no laborales. Vamos a suponer que esta modificación de la movilidad afecta a un 10% de los coches existentes, a un 20% de la población y a un 30-40% de la población activa (The Climate Group, 2008). Por tanto cabe esperar que por este motivo se pueda acceder a una reducción del 6% de la demanda de movilidad con coches, lo cual viene a significar una reducción del 3,2% de la movilidad total viajeros, valor que se incrementa a una reducción del 3,6% si extrapolamos estos porcentajes sobre la demanda de movilidad en coches a la demanda de movilidad con avión y tren interior.

- E-learning<sup>243</sup>: puede significar una reducción del 1,5% de la movilidad total de viajeros.
- E-commerce<sup>244</sup>: puede esperarse una reducción del 3% de emisiones de transporte para compras, que a su vez es el 40% del transporte no relacionado con motivos laborales, o un 20% del transporte privado total (The Climate Group, 2008). En estas condiciones cabría esperar una reducción del 0,6% del transporte en coche.
- Planificación (accesibilidad versus movilidad) y activación del mundo rural. Dentro de este concepto, entrarían:
  - Reducción en movilidad de personas por trabajo, compras, estudios, etc.: estimaremos un 2%.
  - Smart logistics<sup>245</sup>: reducción del 27%-17% de la movilidad total de mercancías (The Climate Group, 2008).
  - Activación de la posibilidad de mayores incrementos de los desplazamientos a pie y en bici.

En relación a la movilidad a pie y en bici, los valores actuales para España son muy bajos (EEA, 2008), especialmente para el uso de la bicicleta, que se sitúa en valores del orden de 20 viajeros-km/hab.-año<sup>246</sup> para la bicicleta y de 368 viajeros-km/hab.-año para los desplazamientos a pie, que en total significan un 0,05% de la demanda de movilidad total de viajeros. De acuerdo a una mejor planificación urbanística y activación del mundo rural vamos a suponer que estos valores se incrementan en el marco del escenario E3.0 hasta alcanzar 800 viajero(S)-km/hab.-a para la bici y 450 viajero-km/hab.-a para los desplazamientos a pie, de tal forma que en total asciendan a

**242** La "sociedad en red" (como extensión de sociedad de información y sociedad del conocimiento) parece el complemento lógico a los otros elementos de inteligencia que planteamos en el contexto de los escenarios E3.0: red inteligente, transporte inteligente, etc.

**243** Aprendizaje a distancia no presencial apoyado por las TIC. Reduce la demanda de movilidad asociada a la formación al articular la accesibilidad a la misma sin requerimiento de desplazamiento.

**244** Incremento del comercio electrónico mediante las TIC. Reduce la demanda de movilidad asociada a la realización de compras al articular la accesibilidad sin requerimientos de desplazamiento.

**245** Introducción de inteligencia en la logística asociada al transporte de mercancías, lo que reduce la demanda de movilidad total de mercancías desde su punto de origen hasta el consumidor final.

**246** Para los desplazamientos a pie y en bicicleta las unidades de viajero(s)-km/hab.-a son equivalentes a los km/hab.-a, por lo que para unificar las unidades respecto a los otros modos de movilidad hemos mantenido unas unidades comunes.

un 0,17% de la demanda de movilidad total de viajeros.

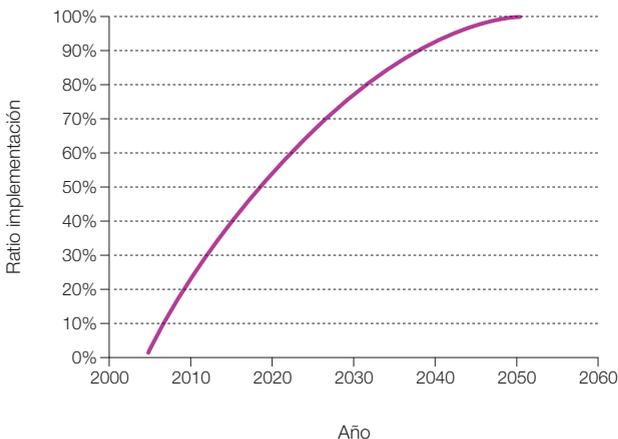
Agrupando todos estos conceptos podemos plantear una reducción de demanda de movilidad en el escenario E3.0 respecto a la del escenario BAU, del 12% para viajeros y del 20% para mercancías. Estas reducciones las podemos considerar como relativamente conservadoras respecto al potencial que nos ofrece la desmaterialización de la economía, pero hemos optado por mantener un planteamiento relativamente conservador en la reducción de las demandas de servicios intermedios<sup>247</sup> para no comprometer la demanda de servicios finales que en principio hemos optado por mantener igual que en el contexto BAU.

La consideración de las distintas velocidades a las que se podrían incorporar estas medidas podrían dar lugar a distintos escenarios de transición, tal y como comentamos anteriormente. Sin embargo, para simplificar el

análisis y partiendo del hecho de que la mayoría de estas medidas dependen, para su despliegue, de diversos factores que van más allá de los tecnológicos y conllevan inercias en diversos sistemas, consideraremos un único escenario de transición para desplegar la totalidad de este potencial de reducción de la demanda de movilidad en el año 2050, para definir así la trayectoria asociada al despliegue del contexto E3.0. La figura 71 recoge el ritmo de implementación de esta reducción en demanda de movilidad considerado para el contexto E3.0.

En estas condiciones, los escenarios E3.0 de movilidad específica de viajeros y mercancías quedan tal y como se muestra en la figura 72. Como podemos observar, los escenarios E3.0, si bien presentan una reducción significativa respecto al escenario BAU, siguen sin mostrar visos de contracción y convergencia, y no presentan una tendencia a la estabilización de estas demandas en el periodo de tiempo considerado.

**Figura 71.** Ratio de introducción de las medidas de reducción de la demanda de movilidad para el escenario E3.0.



**247** La demanda de movilidad podemos considerarla como un servicio intermedio, pues incluso con esta reducción planteada en demanda de movilidad asumimos que la demanda y cobertura de servicios finales (accesibilidad, trabajo, educación, etc.) no se ve reducida.

Figura 72. Escenarios E3.0 de movilidad específica de viajeros y mercancías.

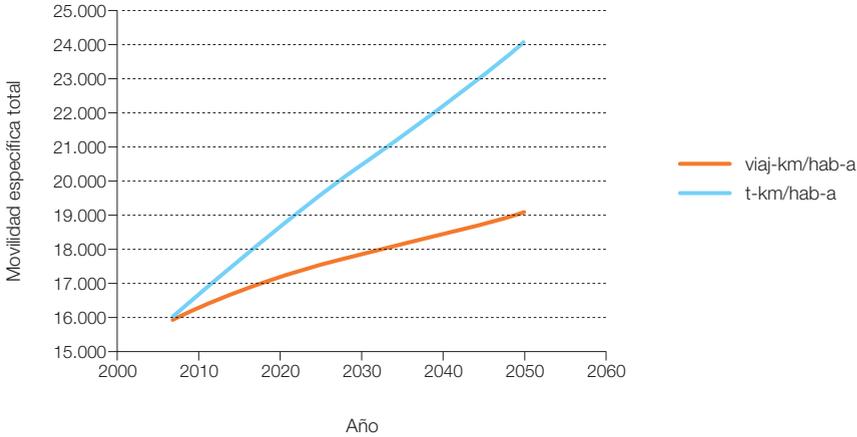
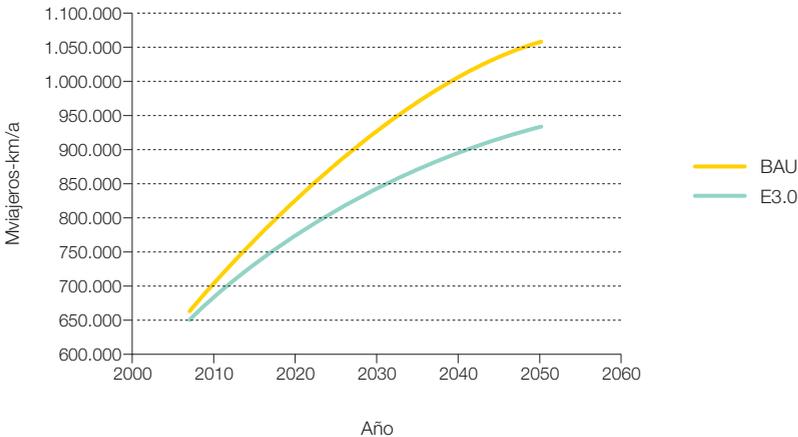


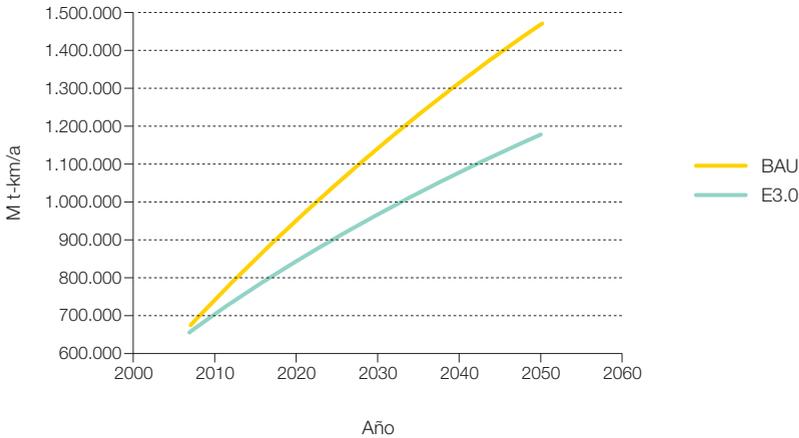
Figura 73. Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta total peninsular de viajeros.



Una de las causas que quedan detrás de este planteamiento es el creciente peso que cabe esperar de las ciudades en la organización socioeconómica en el periodo considerado para el desarrollo de este escenario<sup>248</sup>, con varias capitales de provincia acercándose a las condiciones que actualmente definen la estructura de la demanda en las grandes urbes de nuestro país.

Cruzando estos escenarios de demanda de movilidad específica de viajeros y mercancías con los escenarios de población peninsular adoptados para este estudio, obtenemos los escenarios de demanda de movilidad absoluta peninsular que recogemos en las figuras 73 y 74, y que constituyen la base para la elaboración de los escenarios de demanda de energía desde el sector transporte.

**248** Tanto en los contextos BAU como E3.0. En el E3.0 se podría esperar una cierta estabilización del mundo rural respecto al contexto BAU, pero la tendencia dominante cabe esperar que siga siendo la de consolidación de grandes urbes en las distintas provincias.

**Figura 74.** Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta total peninsular de mercancías.

### 3.6.2 Escenarios reparto modal

El siguiente paso en la elaboración del escenario de demanda energética, del sector transporte, a partir de la demanda de servicio de movilidad es establecer escenarios de reparto modal de los escenarios de demanda de movilidad total desarrollados en el punto anterior.

Las referencias bibliográficas incluyen poca información relativa al reparto modal, especialmente de cara al año 2050. En (EREC, Greenpeace, 2008) se muestran escenarios de reparto modal bajo un contexto BAU y un contexto de eficiencia de cara al año 2050. En (Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente, 2009), si bien no se proporciona de forma explícita un escenario de reparto modal, sí que se puede deducir de los valores presentados un escenario para 2020. En (EEA, 2008), (Pérez Martínez P.J., Monzón de Cáceres A., 2008), (EU, 2002), (MINECO, IDAE, 2003) y (IDAE, 2007) aparecen escenarios de reparto modal en horizontes más cercanos (2005, 2006, 2010, 2012).

Adicionalmente, y especialmente para el caso del escenario E3.0, hemos incorporado

consideraciones asociadas al despliegue de inteligencia en el sector transporte y a su evolución hacia un predominio de la electricidad como vector energético. Bajo estos supuestos, se modifican sustancialmente las hipótesis subyacentes en la gran mayoría de los escenarios de la bibliografía, de tal forma que las soluciones más eficientes se desplazan hacia otros modos de transporte, por lo que condicionan la evolución de los repartos modales. Por otro lado, bajo el supuesto de un importante despliegue de inteligencia en el sector transporte y de una completa internalización de la gestión de la demanda, es factible producir cambios modales mucho más rápidos de lo que permite una aproximación BAU gobernada por el lado de la oferta y ciega a la gestión de la demanda.

#### 3.6.2.1 Evolución histórica del reparto modal

Si tomamos como base la recopilación de información histórica de demanda de movilidad, presentada en el punto anterior, podemos extraer información relativa a la evolución histórica del reparto modal<sup>249</sup> en España.

<sup>249</sup> Es importante recordar que en estas evaluaciones de movilidad se incorpora el 50% de movilidad internacional, lo cual afecta significativamente a los repartos modales resultantes. También es conveniente recordar que la información histórica de demanda de movilidad se ha tenido que completar por omisiones. Referirse al capítulo del escenario de demanda de movilidad para más información al respecto.

En la figura 75 mostramos la evolución histórica del reparto modal de movilidad de viajeros no urbana<sup>250</sup>. Como vemos, este reparto modal está claramente dominado por el transporte por carretera, con un peso creciente de la movilidad aérea. También es destacable el decline de la contribución del ferrocarril. Sin embargo, hay que resaltar que la introducción del tren de alta velocidad ha supuesto una recuperación de terreno del ferrocarril frente al avión, que no se ve reflejado en estos datos históricos que llegan hasta 2007.

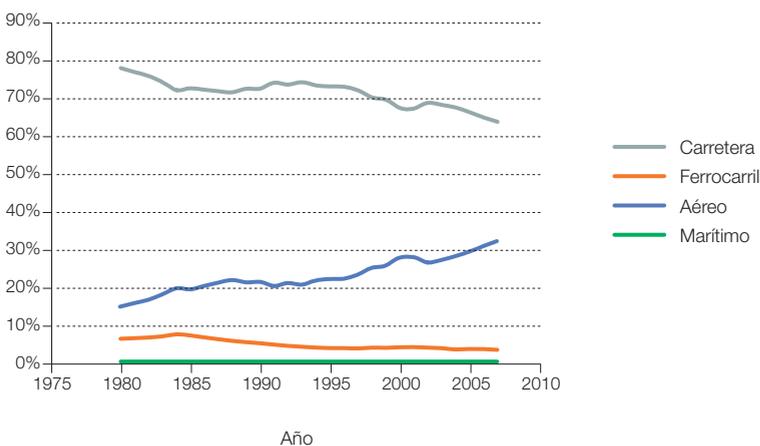
Por lo que respecta al peso de la movilidad urbana de viajeros<sup>251</sup> sobre la demanda de movilidad total, en la figura 76 podemos observar un peso creciente a lo largo del período analizado, y con tasas de crecimiento crecientes. Este hecho es un reflejo de la tendencia a la emigración de la población hacia las grandes urbes, que se está produciendo en todo el mundo y también en España. A este respecto es interesante observar que en las grandes urbes generan una demanda de movilidad urbana elevada, especialmente de viajeros, superior a la demanda de movilidad

que existe en el mundo rural o pequeñas ciudades de donde proviene la población que origina este flujo migratorio hacia las grandes ciudades. En la actualidad, en España hay dos áreas metropolitanas y ciudades (Madrid y Barcelona) que en términos de población quedan muy por encima del resto, y otras tres o cuatro que están empezando a acercarse a los mismos órdenes de magnitud.

La tendencia dominante que podemos esperar en el futuro, tanto en el contexto BAU como en el E3.0<sup>252</sup>, es que se vaya incrementando el número de ciudades con elevada población y por tanto la correspondiente demanda de movilidad urbana.

Por lo que respecta a la evolución del reparto modal histórico de la movilidad de mercancías<sup>253</sup>, en las figuras 77 y 78 mostramos el correspondiente a la movilidad no urbana, mientras que en la figura 79- recogemos el peso de la movilidad urbana de mercancías<sup>254</sup> respecto al total de movilidad de mercancías. Una vez más recordar que la incorporación del 50% de la movilidad exterior distorsiona los resultados

**Figura 75.** Evolución histórica del reparto modal movilidad interurbana de viajeros.



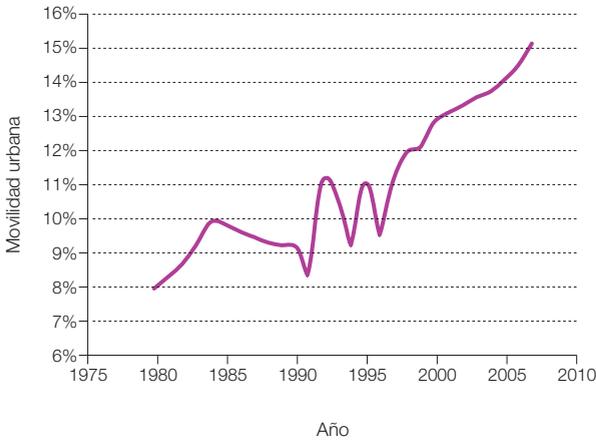
- 250** La fuente principal de la que provienen estos datos son los anuarios estadísticos del Ministerio de Fomento y otras publicaciones de este organismo. Sin embargo, tal y como comentábamos en el capítulo dedicado a los escenarios de demanda de movilidad, hemos tenido que completar esas series debido a omisiones y carencias en los datos. Ver capítulo de escenarios de demanda de movilidad para más detalles.
- 251** La fuente principal de los datos de movilidad urbana, tal y como se refleja en el capítulo dedicado a los escenarios de demanda de movilidad, son los datos reflejados en (MINECO, IDAE, 2003), completada con las hipótesis comentadas en ese capítulo.
- 252** En el contexto E3.0 se atenúa parcialmente esta tendencia tanto por desmaterialización y mejora de accesibilidad, como por estabilización de la población rural.
- 253** La fuente principal de la que provienen estos datos son los anuarios estadísticos del Ministerio de Fomento y otras publicaciones de este organismo. Sin embargo, tal y como comentábamos en el capítulo dedicado a los escenarios de demanda de movilidad, hemos tenido que completar esas series debido a omisiones y carencias en los datos. Ver capítulo de escenarios de demanda de movilidad para más detalles.
- 254** La fuente principal de los datos de movilidad urbana, tal y como se refleja en el capítulo dedicado a los escenarios de demanda de movilidad, son los datos reflejados en (MINECO, IDAE, 2003), completados con las hipótesis comentadas en ese capítulo.

respecto a los que podemos encontrar en otras referencias.

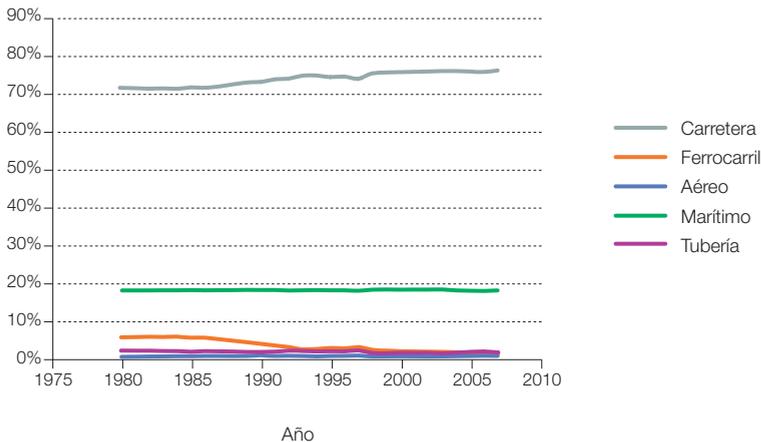
Por lo que respecta a la movilidad no urbana, los aspectos a resaltar son el apabullante pre-

dominio de la movilidad por carretera, con la participación modal que ha mantenido una tendencia creciente en el periodo analizado, y el decline de la movilidad de mercancías por ferrocarril<sup>255</sup>.

**Figura 76.** Evolución histórica del peso de la demanda urbana de movilidad de viajeros sobre la demanda total de movilidad de viajeros.

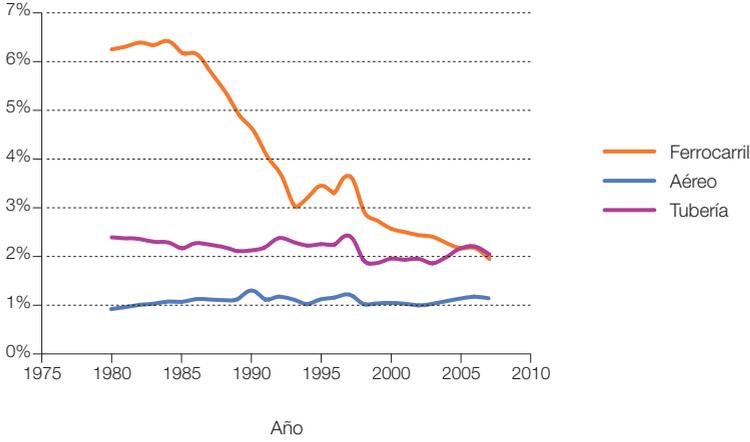


**Figura 77.** Evolución histórica del reparto modal de movilidad interurbana de mercancías: Todos los modos.



**255** Este decline sin duda ha estado influenciado por la gran rigidez del transporte de mercancías por ferrocarril, que requiere en el contexto actual una planificación de un año para no interferir con el transporte de viajeros, y un aprovechamiento considerablemente por debajo del óptimo de la red ferroviaria. La incorporación de inteligencia en el sistema de transporte permitiría eliminar estos inconvenientes, permitiendo al transporte ferroviario acceder a una mayor cota modal en el futuro.

**Figura 78.** Evolución histórica del reparto modal de la movilidad interurbana de mercancías: excluyendo los modos dominantes (carretera y marítimo).



**Figura 79.** Evolución histórica del peso de la demanda urbana de movilidad de mercancías sobre la demanda total de movilidad de mercancías.



Por lo que respecta al transporte urbano de mercancías, al contrario que en el caso de viajeros, su peso relativo muestra una clara tendencia decreciente respecto al total del transporte de mercancías. Hay dos aspectos que pueden contribuir a esta disminución relativa:

- Una tendencia creciente a la importación de productos de consumo de regiones alejadas a la de destino<sup>256</sup>.
- La mayor eficacia de la organización urbana de alta densidad por lo que respecta a la distribución de los productos de consumo en su tramo final<sup>257</sup>.

### 3.6.2.2 Escenario contribución urbana a demanda movilidad total

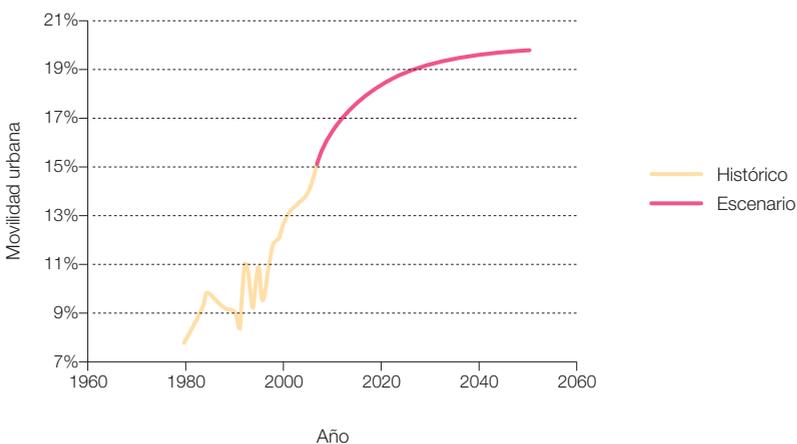
De acuerdo con los resultados presentados en el punto anterior, procedemos en primera instancia a desarrollar un escenario del peso de la movilidad urbana<sup>258</sup> sobre la movilidad total.

Hay distintos factores que pueden afectar al peso de la movilidad urbana sobre la total: planificación urbanística, desmaterialización, incremento de la accesibilidad, estabilización población en mundo rural, etc. Y en principio podría esperarse que la evolución de estos factores fuera distinta en el contexto BAU que en el E3.0. Sin embargo, dada la falta de información para cuantificar el efecto de estos aspectos, para la movilidad de viajeros hemos considerado que el peso relativo de la movilidad urbana sobre la total es el mismo para el escenario BAU que para el E3.0<sup>259</sup>.

En la figura 80 presentamos el escenario de contribución de la movilidad urbana de viajeros sobre el total de la demanda de movilidad de viajeros. Como podemos ver, el escenario parte de las tendencias crecientes históricas para ir evolucionando hacia una saturación de su participación porcentual.

En el caso de la movilidad de mercancías, la evolución histórica no presenta una tendencia tan definida como la de viajeros, por lo que

**Figura 80.** Escenario de evolución del peso de la movilidad urbana de viajeros sobre la movilidad total de viajeros.



**256** En este sentido, en los últimos años hemos asistido a una creciente penetración de productos de consumo procedentes de otras regiones alejadas (disponibilidad de productos alimenticios estacionales a lo largo de todo el año, incremento de productos manufacturados en economías emergentes situadas al otro lado del mundo, etc.).

**257** Si bien esta mayor eficacia en la distribución de mercancías en su tramo final (de comercio a consumidor) puede ser a costa de incrementar los requerimientos de movilidad en las etapas previas (necesidad de movilizar recursos de amplias y distantes zonas para satisfacer una demanda con elevado grado de centralización).

**258** El alcance del término urbano debe entenderse aquí de forma limitada a la ciudad, sin abarcar toda el área de influencia metropolitana. En este sentido, por ejemplo incluye el transporte en metro pero no el de los trenes de cercanías. Sin embargo esta diferenciación es cada vez más difusa en las grandes urbes, donde empiezan a solaparse las zonas de influencia de estos dos medios de transporte, y donde se van diluyendo las fronteras con las poblaciones circundantes de la gran urbe, tanto físicamente como por lo que se refiere a la demanda de movilidad. Además, debe tenerse presente la gran incertidumbre asociada a la cuantificación de la componente urbana de movilidad. La principal fuente de datos que hemos empleados es la estimación realizada en (MINECO, IDAE, 2003), donde ya se hace hincapié en la gran falta de información estadística fiable correspondiente a este componente de movilidad, que hemos extendido al resto del periodo histórico contemplado con las hipótesis reflejadas en el capítulo de escenarios de demanda de movilidad.

**259** Aunque al ser menor la movilidad total en el contexto E3.0, la correspondiente movilidad urbana también será inferior a la del contexto BAU. Nótese que dado que los escenarios de movilidad total ya están fijados, este peso porcentual tan solo afecta a cómo se reparte la demanda de movilidad total entre urbana e interurbana: reducir el peso de la movilidad urbana conduce a incrementar el peso de la no urbana.

todavía es más complicado elaborar una proyección de futuro de esta tendencia. Por otro lado, creemos que el impacto de los elementos diferenciales del escenario E3.0 pueden, en el caso de las mercancías, conducir a una mayor diferenciación respecto al escenario BAU de lo que sucedía en el caso de viajeros. Por este motivo, para el caso de mercancías hemos diferenciado los escenarios de evolución de la contribución urbana en ambos contextos.

En la figura 81 recogemos los dos escenarios de evolución del peso relativo de la movilidad urbana de mercancías. Como vemos, tanto para BAU como para E3.0 se trata de escenarios compatibles con la tendencia creciente de los últimos años que van a estabilizarse en un valor inferior al máximo histórico. El crecimiento de las áreas urbanas, y la tendencia creciente hacia la intermodalidad, en ambos escenarios con el correspondiente desplazamiento de peso porcentual de movilidad hacia los tramos finales del recorrido de las mercancías, apuntan hacia un incremento de la

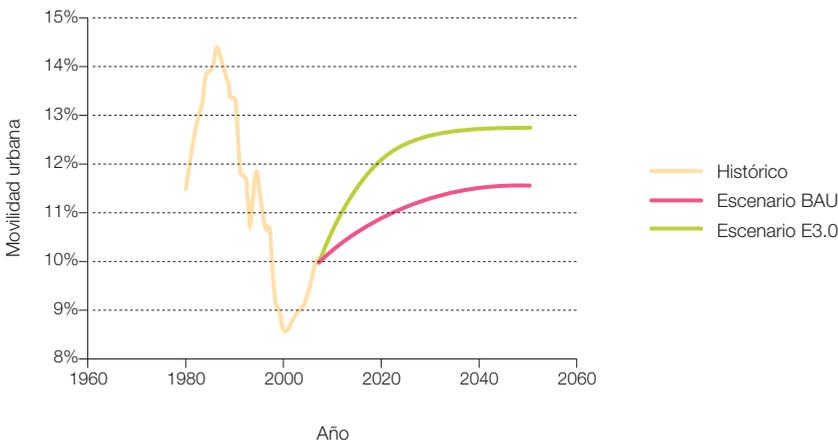
movilidad urbana de mercancías. Dado que en el contexto E3.0 la movilidad interurbana va a estar más acotada, cabe esperar que el porcentaje de estabilización del peso de la movilidad urbana sea superior en este caso.

### 3.6.2.3 Escenarios de reparto modal en movilidad urbana de viajeros

De acuerdo con las consideraciones anteriores, el desglose de la movilidad de viajeros<sup>260</sup> entre urbana y no urbana para los escenarios BAU y E3.0 queda, en términos de movilidad específica<sup>261</sup> como aparece recogido en las figuras 82 y 83.

Por lo que respecta a los escenarios de reparto modal<sup>262</sup> del *transporte urbano de viajeros*, en términos de las tres grandes categorías modales de movilidad motorizada<sup>263</sup> (particular carretera, colectivo carretera y colectivo metro)<sup>264</sup>, los escenarios BAU y E3.0 adoptados son los mostrados en las figuras 84 y 85.

**Figura 81.** Escenarios BAU y E3.0 de evolución del peso de la movilidad urbana de mercancías sobre la movilidad total de mercancías.



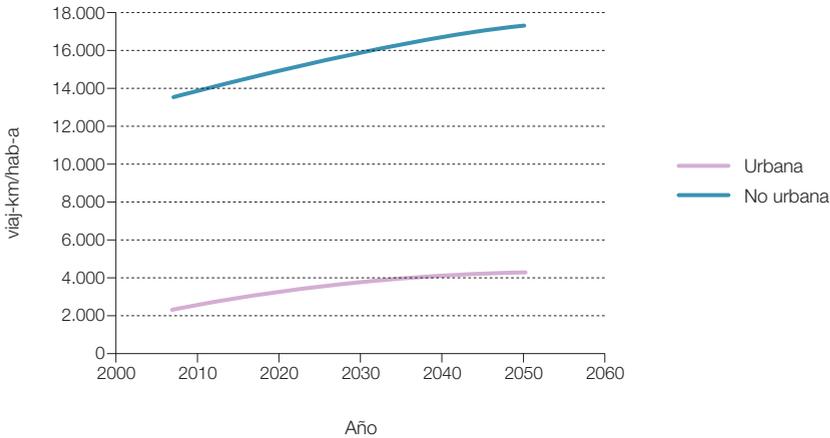
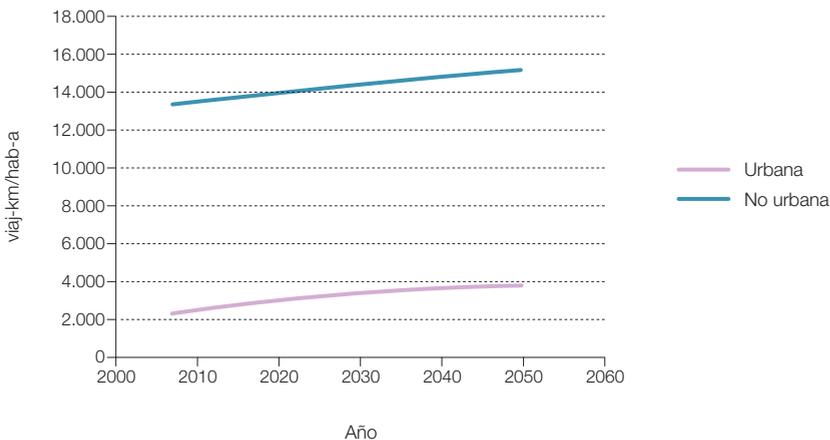
<sup>260</sup> Por lo que se refiere a la movilidad motorizada.

<sup>261</sup> En términos de demanda de movilidad, la mejora del contexto E3.0 frente al BAU es, tal y como comentamos anteriormente en el punto comentado a los escenarios de movilidad, conservadora, y se limita al despliegue de un potencial de un 12% de mejora de forma gradual hasta el año 2050.

<sup>262</sup> En el contexto E3.0, para el reparto modal, también cabría plantearse una situación límite definida por la tecnología E3.0 (fundamentalmente el despliegue del STI), y una serie de escenarios de transición desde el contexto BAU a la tecnología E3.0. Sin embargo, por simplicidad hemos adoptado un único escenario de transición para el reparto modal, de tal forma que las figuras correspondientes al contexto E3.0 muestran ya el escenario de transición adoptado.

<sup>263</sup> Los gráficos que siguen muestran los modos de movilidad motorizada. Los modos de movilidad no motorizada no aparecen reflejados directamente, y actúan como una reducción de la demanda de movilidad motorizada, debido a que el objetivo de este estudio es el análisis de implicaciones energéticas del transporte.

<sup>264</sup> Es de notar que en visiones más futuristas en las que se dispusiera de vehículos modulares de bajo consumo para desplazamiento aéreo, la movilidad urbana contaría con un modo adicional que dada su gran flexibilidad podría llegar a ser dominante sobre todos los demás, al liberar todo el espacio aéreo encima de las urbes para implementar modos de transporte con una muy baja dependencia de infraestructuras y con gran flexibilidad. Una primera aproximación a esta situación en la que se busca explotar el potencial del espacio aéreo para acoger parte de la movilidad, pero con las rigideces de infraestructura asociadas a los modos terrestres y por tanto sin la flexibilidad asociada a eliminar esta dependencia, la empezamos a ver en los trenes ligeros elevados. Sin embargo, la ausencia, en la actualidad, incluso a nivel prototipo, de propuestas de movilidad viables en este modo que no incurran en las dependencias de infraestructura de los modos terrestres, y que puedan sacar partido de la gran flexibilidad asociada a la independencia de

**Figura 82.** Escenarios BAU de movilidad específica de viajeros urbana y no urbana.**Figura 83.** Escenarios E3.0 de movilidad específica de viajeros urbana y no urbana.

Respecto a la división adoptada para la nomenclatura modal es obvio que las distinciones básicas que hacemos son entre ferrocarril y carretera, y entre particular y colectivo. No se hace diferenciación alguna en relación al carácter privado o público del modo de transporte, pues en el contexto global de nuestro análisis es menos relevante<sup>265</sup>. Así, un coche podrá ser particular si es propiedad de un individuo, o colectivo si pertenece a una empresa de servicios

de transporte, y un autobús podrá ser de una empresa de transportes pública o privada. En el contexto del escenario E3.0 esta diferenciación cobra más relevancia, porque al adaptar la oferta de movilidad a la demanda real, la optimización energética requerirá disponer de distintos tamaños de vehículo (desde la moto al autobús y el metro) para ofrecer el servicio de movilidad requerido con la elasticidad demandada y con altos factores de capacidad.

infraestructuras, así como la existencia de una grandísima inversión en infraestructura terrestre para movilidad urbana que en el marco de un STI habría que optimizar, ha dejado esta posibilidad de liberación del modo aéreo urbano fuera del alcance del planteamiento de contexto E3.0 realizado. De hecho, el modo aéreo para movilidad interurbana, en sus condiciones actuales de desarrollo, es el que introduce una mayor rigidez y complejidad en el sector transporte para reencaminarse hacia la sostenibilidad, dada la inviabilidad de su electrificación a gran escala.

<sup>265</sup> Otro matiz entre transporte colectivo y transporte público es que en el contexto de un STI las iniciativas privadas de transporte colectivo pueden romper algunas ineficiencias del transporte público actual, y sobre todo viabilizar mayores velocidades de cambio de la estructura del sector transporte.

La diferencia fundamental entre los enfoques BAU y E3.0 es la gran reducción del modo particular carretera en el escenario E3.0 a favor del colectivo carretera (y, en menor medida, del colectivo metro). Sin embargo, es preciso interpretar correctamente estas proyecciones, pues en el contexto BAU no sería viable plantear un cambio modal tan radical como el que aparentemente muestran estas figuras. En efecto, la diferencia fundamental de los escenarios planteados no es la migración hacia los modos de transporte que hoy denominamos como transporte público (bus) desde el que denominamos privado (coche/moto), sino el cambio de propiedad de los vehículos que hoy denominamos privados (coche/moto). Es decir, en el escenario E3.0 los modos colectivos alcanzan una implementación muy superior, pero emplean una mayor diversidad de vehículos: coche eléctrico, bus eléctrico distintos tamaños y metro. De esta forma, el transporte colectivo aumenta su flexibilidad por el lado de la oferta para adaptarse mejor a la estructura de la demanda de movilidad, proporcionado ese servicio a los usuarios finales en unas condiciones mucho más favorables<sup>266</sup> que las asociadas al uso particular de esos vehículos.

Este planteamiento puede parecer en principio un tanto “radical”, sobre todo por su distanciamiento con los otros escenarios que se encuentran en la literatura y por el enfoque conceptual actual del sector transporte. El elemento conceptual fundamental que permite apoyar este planteamiento es el de la implementación de un STI<sup>267</sup>: En el fondo no hablamos de desplazamiento del coche por el transporte público convencional, sino que gran parte de ese nuevo transporte colectivo son coches de distintos tamaños operados por el STI y sobre los que el usuario contrata servicios de movilidad.

Limitaremos este enfoque “radical” al ámbito urbano, apoyándonos en el hecho de que es en este ámbito donde cabe esperar que la oferta del STI sea muy superior y rentable para los usuarios<sup>268</sup>, por lo que los desplazamientos en vehículo particular (aunque siga existiendo la propiedad de estos vehículos) se verán reducidos a un mínimo.

El metro es un medio de transporte que merece comentarios específicos. En el contexto BAU, el cambio modal hacia el metro constituye uno de los principales mecanismos de incrementar la eficiencia del transporte urbano. Sin embargo, la participación modal de este modo es actualmente muy baja, y su capacidad de desplazar al modo dominante (transporte particular por carretera) muy limitada como consecuencia de su rigidez. En un contexto E3.0, el metro no constituye el modo de transporte de mayor eficacia, pues el transporte eléctrico por carretera bajo el paraguas de un STI alcanza rendimientos más elevados, además de permitir un desplazamiento a ritmo muy superior al modo menos eficiente (particular carretera) gracias a su mayor flexibilidad. Sin embargo, allí donde la red de metro ya se ha desarrollado, el STI debería tender a optimizar esa infraestructura existente y hacerla evolucionar hacia mayores niveles de eficiencia, mediante la interacción sinérgica con el modo de transporte colectivo por carretera, básicamente mediante el incremento del factor de capacidad<sup>269</sup> con el que se usa el metro gracias a la flexibilidad adicional que le puede proporcionar su interacción modal con el modo carretera colectivo. En este sentido, el modo carretera colectivo puede actuar en cierta medida como facilitador del incremento de la participación modal del metro. De igual forma, el STI puede potenciar la intermodalidad con los medios de transporte no motorizados, y facilitar el incremento de la participación modal del metro.

**266** Globalmente favorables debido a que el factor de capacidad de los coches colectivos es mucho más elevado que el de los particulares, lo que permite además una mayor tasa de renovación de los equipos para mantenerse en el óptimo tecnológico, y favorable para el demandante del servicio de movilidad, por aliviarle de todos los inconvenientes asociados a la propiedad del vehículo (inversión, mantenimiento, aparcamiento, acceso a última tecnología, etc.).

**267** Sistema de Transporte Inteligente.

**268** Otra gran ventaja del STI en este ámbito urbano es la gran reducción de la congestión que conlleva.

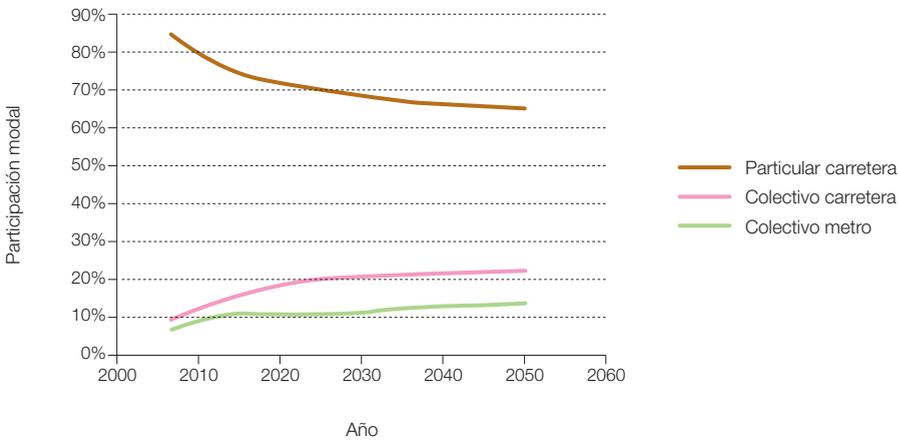
**269** Actualmente el factor de capacidad con el que se usa el metro es muy bajo, a pesar de los apretones que podemos experimentar en hora punta, como consecuencia de su rigidez al ser un modo de transporte gobernado por la oferta. En efecto, los factores de capacidad del metro pueden ser en media anual del orden del 17% al 15% (Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Fomento, 2008), aunque otras referencias apuntan a valores más altos que probablemente se refieran a condiciones típicas de uso.

Por este motivo, en el contexto E3.0 planteamos un despegue de la participación modal del metro en los primeros años del periodo considerado, impulsado por el despegue de la participación modal del modo carretera colectivo, para posteriormente estabilizarse en los niveles de cobertura de movilidad por la

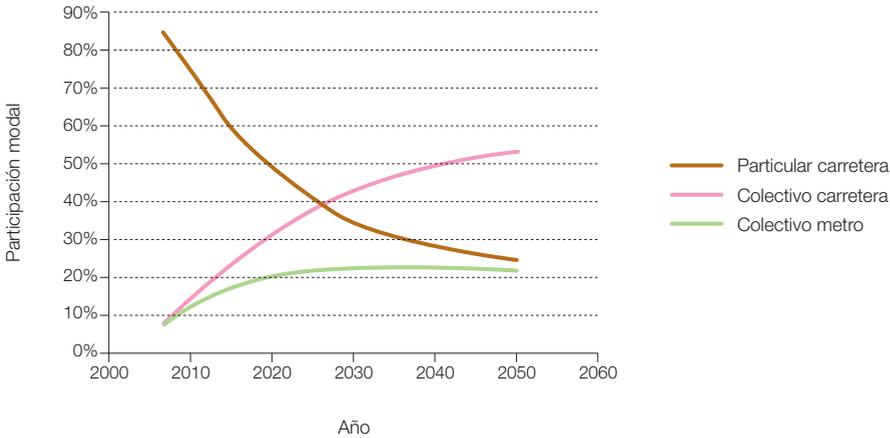
mayor dificultad de justificar inversiones adicionales en infraestructura una vez que ya está disponible un modo de transporte más flexible y de mayor nivel de eficiencia.

En términos de movilidad absoluta, la figura 86- nos muestra los escenarios de movilidad

**Figura 84.** Escenarios BAU de reparto modal del transporte urbano motorizado de viajeros.



**Figura 85.** Escenarios E3.0 de reparto modal del transporte urbano motorizado de viajeros.



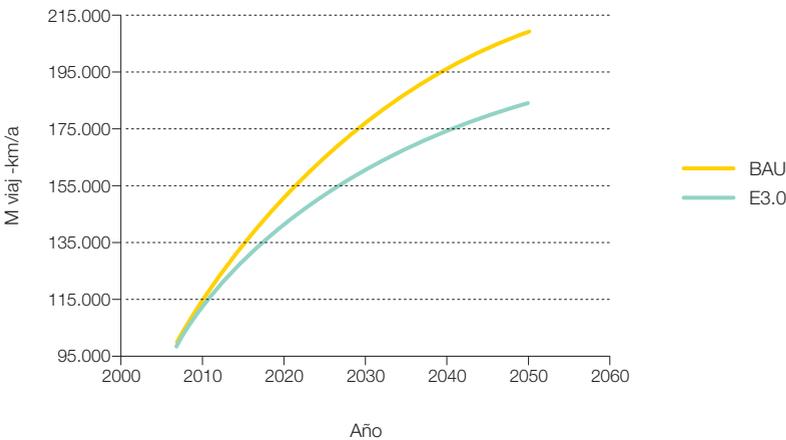
urbana de viajeros<sup>270</sup> en los contextos BAU y E3.0, mientras que las figuras 87 y 88 nos muestran las contribuciones de los distintos modos en los contextos BAU y E3.0.

Dentro del modo “particular carretera” puede resultar conveniente diferenciar entre

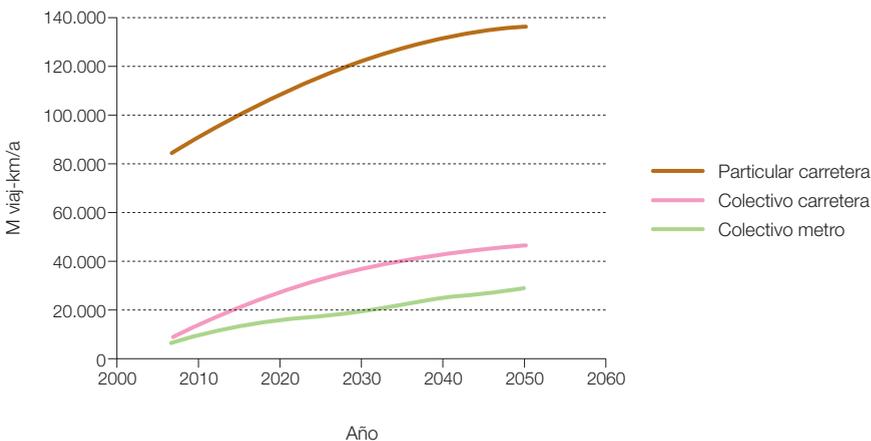
motocicletas y coches debido a la distinta evolución de sus consumos específicos. En el contexto E3.0 esta diferenciación no es tan relevante, pues siendo vehículos eléctricos, en términos de movilidad, estos dos modos de transporte tienen un consumo muy parecido. Por el contrario, en el contexto BAU sí

**270** Si bien a primera vista puede parecer que tanto en el contexto BAU como en el E3.0 se experimenta un gran crecimiento de la movilidad urbana a lo largo del periodo temporal analizado, al observar los resultados bajo la perspectiva de la evolución histórica se constata que en los escenarios planteados no solo se introduce una tendencia a la saturación del peso de esta movilidad sobre el conjunto de la movilidad, sino que además las tasas de crecimiento medias anuales planteadas son muy inferiores a las históricas. En efecto, en términos de peso de la movilidad urbana frente a la movilidad total, tanto los escenarios BAU como E3.0 plantean un crecimiento anual medio del orden de un tercio de los valores históricos. En términos de la movilidad per cápita, el contexto E3.0 conduce a un crecimiento anual medio del 1,2%/a, mientras los valores históricos entre 1990 y 1999, según estimación de (MINECO, IDAE, 2003) eran del 11,5%/a, y la serie histórica completada entre 1980 y 2007 experimentaba un crecimiento medio del 13,4%/a. En términos de movilidad absoluta urbana, el escenario E3.0 plantea un crecimiento anual medio del 2%/a, mientras que el valor histórico entre 1990 y 1999 asciende a 12,1%/a, llegando a 16,7%/a si consideramos la serie histórica completada entre 1980 y 2007. Por tanto, podemos concluir que los incrementos de movilidad urbana planteados por estos escenarios son bastante más bajos que los que cabría esperar según las tendencias históricas, lo cual responde a unos planteamientos, por un lado, de saturación de la demanda de movilidad urbana, y por otro lado de una cierta tendencia de estabilización de la población rural (especialmente en el escenario E3.0). El incremento de la movilidad urbana per cápita responde a la tendencia dominante de incremento de la población urbana respecto a la rural, mientras que el mayor incremento en la movilidad absoluta refleja el crecimiento de la población del escenario poblacional adoptado.

**Figura 86.** Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta urbana motorizada de viajeros.



**Figura 87.** Escenarios BAU de movilidad absoluta urbana de viajeros para los distintos modos motorizados.

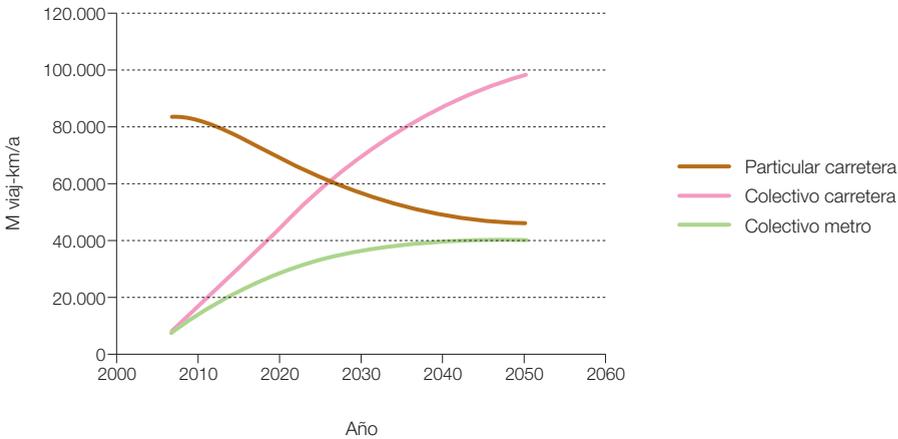


que es necesario hacer esta diferenciación porque la moto acaba siendo menos eficiente<sup>271</sup>. Diferenciamos entre urbano/interurbano, pues la congestión y los temas de disponibilidad de aparcamiento justifican la evolución con tendencias contrarias. En la figura 89 mostramos estos escenarios.

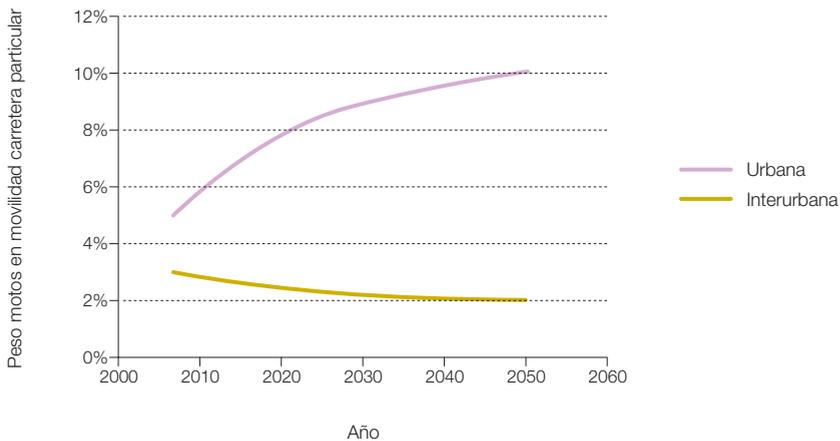
### 3.6.2.4 Escenarios de reparto modal en movilidad urbana de mercancías

En el capítulo dedicado al desarrollo de escenarios de movilidad se indicaron las hipótesis que conducían a los escenarios de movilidad total de mercancías, tanto en el contexto BAU

**Figura 88.** Escenarios E3.0 de movilidad absoluta urbana de viajeros para los distintos modos motorizados.



**Figura 89.** Escenarios de participación de las motos sobre la movilidad particular por carretera en el escenario BAU.

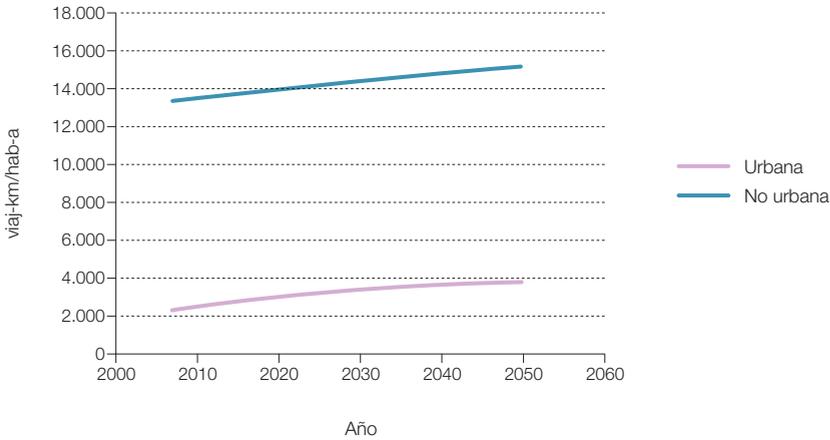


<sup>271</sup> Debido principalmente a su mayor dificultad de hibridación por limitaciones de espacio.

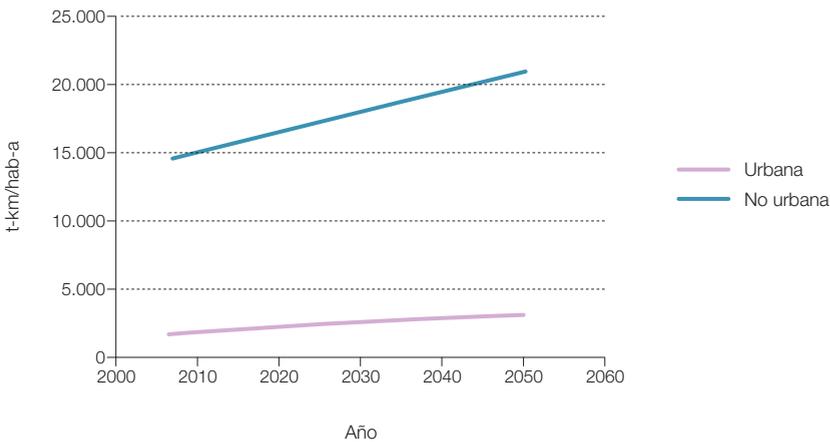
como en el E3.0. Para el contexto E3.0 se exponían una serie de actuaciones que conducían a una reducción en la demanda total de movilidad del 20%. Posteriormente, desarrollamos unos escenarios del peso de la movilidad urbana de mercancías sobre el total de movilidad de mercancías, también diferenciando los contextos BAU y E3.0. De acuerdo

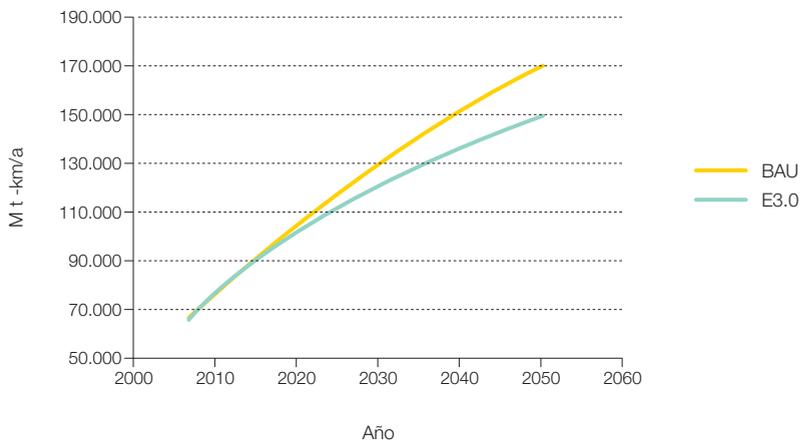
con estas consideraciones anteriores, el desglose de la movilidad de mercancías entre urbana y no urbana para los escenarios BAU y E3.0 queda, en términos de movilidad específica como aparece recogido en las figuras 90 y 91. En términos del reparto modal, para la movilidad urbana de mercancías solo se considera un modo: la carretera.

**Figura 90.** Escenarios BAU de movilidad específica de mercancías urbana y no urbana.



**Figura 91.** Escenarios E3.0 de movilidad específica de mercancías urbana y no urbana.



**Figura 92.** Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta urbana de mercancías.

En términos de movilidad absoluta, la figura 92 nos muestra los escenarios de movilidad urbana de mercancías en los contextos BAU y E3.0, que como hemos comentado corresponde toda ella al modo carretera.

### 3.6.2.5 Escenarios de reparto modal en movilidad no urbana de viajeros

Partimos de la evolución histórica del peso de cada uno de los modos de movilidad no urbana de viajeros<sup>272</sup>, y hemos procedido a elaborar escenarios de evolución de la participación modal para los contextos BAU y E3.0. En las figuras 93 a 96 mostramos dichos escenarios<sup>273</sup> para cada uno de los modos de transporte de forma comparativa para los contextos BAU y E3.0.

Respecto a la movilidad de viajeros por barco, en el contexto BAU planteamos un escenario decreciente en términos porcentuales, pues debido a los mayores tiempos de desplazamiento parece difícil que pueda crecer su participación: resulta poco competitivo respecto a los otros modos. En el contexto

E3.0, si tenemos en cuenta que la movilidad interurbana incorpora el 50% de desplazamientos exteriores, planteamos una potenciación del transporte marítimo de pasajeros encaminada a descargar el peso sobre el modo aéreo, que resulta más difícil de cubrir con energías renovables. Sin embargo, debido a los mayores tiempos de desplazamiento<sup>274</sup> es difícil plantearse que este modo llegue a alcanzar pesos relativos importantes.

Respecto a la movilidad por ferrocarril, en el contexto BAU planteamos un escenario que tiende a una ligera recuperación de este modo de transporte. En el contexto E3.0 planteamos una mayor participación porcentual de este modo de transporte, apoyada por un lado por el STI, y por otro lado por la reducción de la movilidad total que afecta principalmente a otros modos de transporte. En efecto, el STI permite plantear un significativo incremento de la movilidad por tren al facilitar el transporte a, y desde las estaciones. Este cambio de tendencia viene impulsado en las primeras etapas por la entrada del tren de alta velocidad sustituyendo vuelos nacionales, y posteriormente se acelera con la progresiva implementación del STI.

**272** Como indicamos en el capítulo correspondiente a la elaboración de los escenarios de movilidad, la fuente principal empleada para los históricos son los diversos anuarios del Ministerio de Fomento, así como otras publicaciones del Ministerio de Fomento, y la estimación desarrollada en (MINECO, IDAE, 2003) para la movilidad urbana.

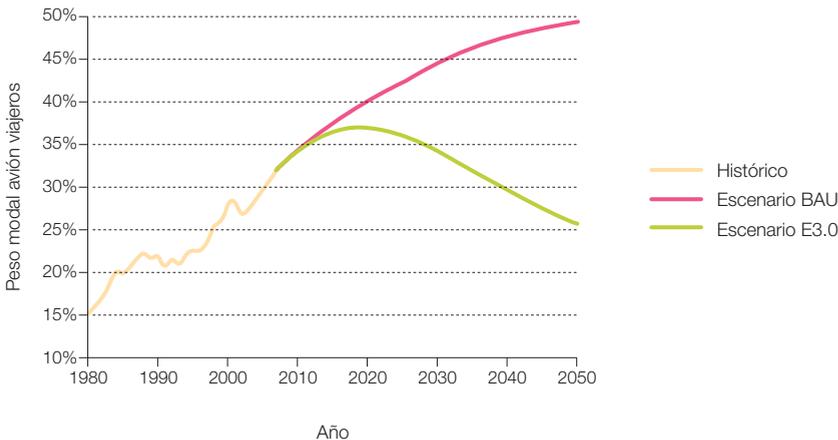
**273** Para la transición al contexto E3.0 en lo referente al reparto modal, podrían plantearse las condiciones asociadas a la tecnología E3.0 y distintos escenarios de transición, pero para simplificar, en el caso de los repartos modales consideramos un único escenario de transición que ya se encuentra incorporado en los resultados presentados.

**274** Cabe plantearse un cierto desplazamiento modal del avión al barco para los viajes de ocio, pero no hay opciones de que el modo marítimo compita con el aéreo para desplazamientos laborales.

Respecto a la movilidad de viajeros por avión, en el contexto BAU planteamos un escenario tendencial en que este modo sigue incrementando su peso porcentual, con tasas de crecimiento decrecientes, pero sin llegar a invertir la tendencia histórica. Este modo de transporte es crítico desde el punto de vista de la descarbonización del sistema, pues prácticamente la única alternativa al uso de los combustibles fósiles son los biocombustibles. El hidrógeno es otra alternativa, pero requiere emplear una cantidad superior de recursos renovables debido a sus menores rendimientos de conversión (en torno a un 43% para el H<sub>2</sub> líquido, frente a un 67% típico de un biocombustible líquido), por lo que es significativamente más caro. Si bien existe alguna primera experiencia de avión eléctrico con aviones pequeños y vuelos cortos, en la actualidad no parece viable plantearse un escenario con una electrificación significativa del transporte aéreo. Por tanto, en el contexto E3.0 interesa plantear una máxima migración del modo aéreo a otros modos de transporte

con mayores opciones de incorporar energías renovables. Sin embargo, debemos tener presente que en 2007 la aviación interior (aquella más susceptible de ser sustituida por otros modos de transporte) constituía un 7% del total de aviación<sup>275</sup>, por tanto, lo que domina es la aviación exterior, más difícilmente sustituible por el tren o la carretera, y para la cual cabe esperar que siga creciendo la demanda de movilidad, por lo menos durante los primeros años del escenario. En el contexto E3.0 se han aplicado reducciones importantes de demanda de movilidad por motivos de negocios/trabajo basándose en la desmaterialización (sustitución desplazamientos por teleconferencias, etc.), lo cual permite plantear mayores reducciones del peso modal para la aviación. Las tendencias actuales de crecimiento, junto a la progresiva implementación de la desmaterialización, el desplazamiento interior hacia el ferrocarril y las propias medidas de eficiencia en el sector aviación, conducen a un escenario con un máximo en demanda de movilidad aérea en torno al año 2020.

**Figura 93.** Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros por avión. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.



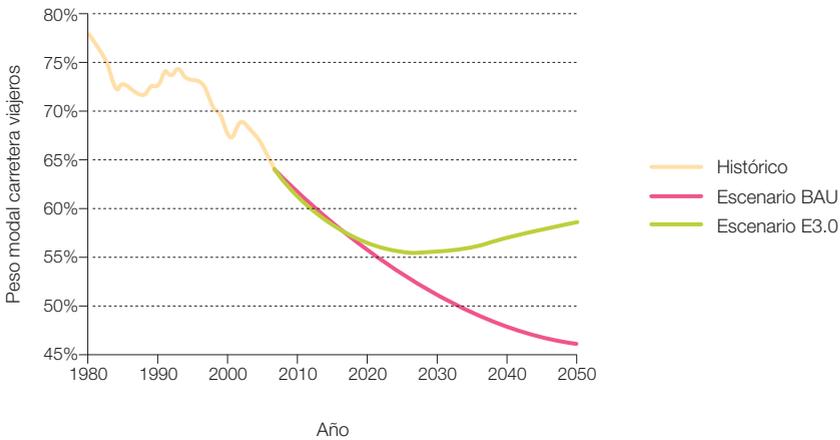
<sup>275</sup> Datos correspondientes a anuarios del Ministerio de Fomento, en términos de movilidad. Sin embargo, en el contexto de los escenarios aquí planteados, solo consideramos el 50% de la movilidad exterior, por lo que el peso de la aviación interior asciende al 13% respecto al total de la movilidad por aire.

Por lo que respecta a la movilidad por carretera, el escenario BAU sigue las tendencias actuales de decrecimiento del peso porcentual de este modo de transporte de viajeros, mientras que en el contexto E3.0 el mayor uso que hace el STI del transporte por carretera para favorecer la intermodalidad, así como la reducción de

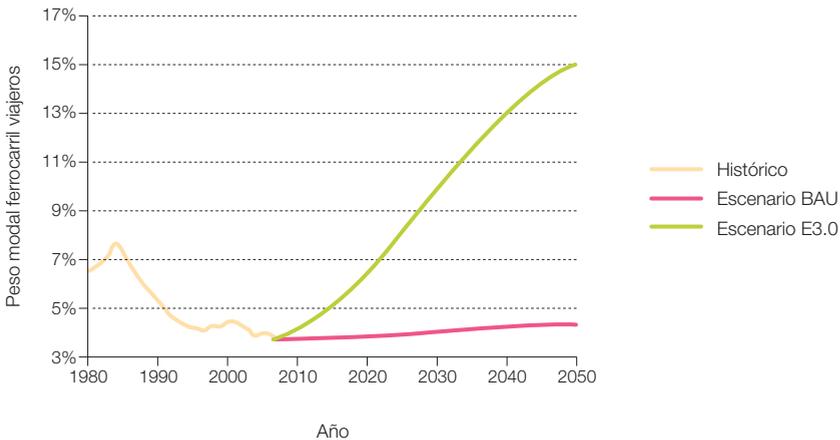
la demanda de movilidad en otros modos<sup>276</sup>, hace que se vayan atenuando las tasas de decrecimiento para alcanzar un mínimo en torno al 2030 y luego tender a estabilizarse.

En las figuras 97 a 100 mostramos la evolución de los escenarios de reparto modal en

**Figura 94.** Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros por carretera. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.

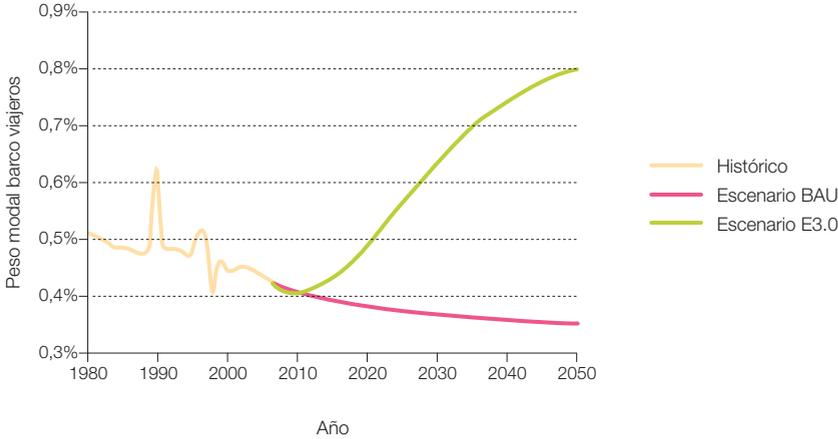


**Figura 95.** Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros por ferrocarril. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.



<sup>276</sup> Que conducen a una reducción de la demanda de movilidad total y por tanto al incremento del peso relativo de la movilidad por carretera que no experimenta la misma reducción.

**Figura 96.** Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros por barco. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.



los contextos BAU y E3.0 para la movilidad interurbana de viajeros. Las figuras recogen los correspondientes valores de movilidad absoluta peninsular en estas condiciones para cada uno de los modos de transporte de viajeros.

Como podemos ver, en el contexto BAU, el modo carretera, si bien domina la movilidad en la primera parte del periodo analizado, va reduciendo gradualmente su peso relativo<sup>277</sup>, para pasar, hacia el año 2040, a ceder el primer lugar modal al transporte aéreo. El transporte aéreo mantiene su tendencia actual de crecimiento, y a pesar de que las tasas de crecimiento se van reduciendo a lo largo del escenario, no llega a saturarse, y pasa a ser el modo de transporte dominante. Esta situación, impulsada por las estrategias que hemos vivido en los últimos años del bajo coste de los vuelos, resulta tremendamente problemática desde la perspectiva de la sostenibilidad, al ser el modo aéreo el más problemático desde el punto de vista de la sustitución de los combustibles fósiles. Este escenario BAU, con tasas de evolución de los modos carretera y aéreo, incluso más favorables que las

registradas en la evolución histórica reciente, nos muestra la necesidad de actuación decidida para evitar que se despliegue este escenario, que nos dificultaría mucho para reencaminar el sector del transporte hacia la sostenibilidad.

En el contexto E3.0, se consiguen invertir las tendencias anteriormente comentadas, y se consigue que el modo aéreo alcance un pico en torno al año 2020. Sin embargo, a pesar de ello, el modo aéreo sigue siendo el segundo en importancia, por detrás de la carretera, a lo largo de todo el escenario, por lo que seguirá suponiendo una complicación desde el punto de vista de un sistema energético sostenible. Esta inversión de tendencia en el modo aéreo se consigue, por un lado, mediante la reducción de demanda de movilidad por desmaterialización, especialmente centrada en este modo de transporte, y por otro lado impulsando el modo ferrocarril apoyado por el modo carretera en un contexto de STI.

Es importante resaltar que para conseguir una sustitución significativa del modo aéreo por el

<sup>277</sup> Las tasas de decrecimiento mantienen la tendencia histórica, pero se van reduciendo al ir avanzando a lo largo del escenario.

modo ferrocarril, parece imprescindible potenciar las líneas de ferrocarril capaces de competir en tiempo y servicio con la aviación, apoyadas por un sistema de transporte por carretera que optimice la conexión intermodal con dicha red de ferrocarriles de alta velocidad<sup>278</sup>. En efecto, la capacidad de los trenes de alta velocidad para proporcionar el servicio de movilidad con tiempos comparables al modo aéreo, parece ser el principal mecanismo capaz de desplazar al modo aéreo. A nivel de vuelos interiores en España, ya estamos asistiendo a esta situación en líneas como la Madrid-Barcelona, y esto es sin la existencia de un STI que permita optimizar el acoplamiento intermodal con el transporte por carretera para “acercar” más el ferrocarril a los demandantes de movilidad. Esta situación podría extenderse incluso para abarcar los desplazamientos internacionales a los países más cercanos si se mejoraran las conexiones internacionales de la red de trenes de alta velocidad, de tal forma que el modo aéreo quedara limitado a aquellos desplazamientos de mayor distancia, para los cuales existiera ya un escalón inadmisibles para el usuario entre los tiempos requeridos por el modo ferrocarril y el aéreo.

También es interesante comentar la evolución del modo carretera en el escenario E3.0, pues el escenario planteado es contrario tanto a la tendencia actual como a lo que habitualmente se da por supuesto al pensar en un sistema de transporte sostenible. En efecto, el escenario planteado conduce a un mínimo en el peso modal de la carretera en torno al año 2025, para posteriormente pasar a incrementar ligeramente su contribución modal tendiendo a una estabilización hacia los años finales del escenario considerado. En términos de movilidad absoluta vemos cómo para los años finales, a pesar de que la demanda de movilidad total en E3.0 es sensiblemente

inferior a la de BAU, el modo carretera tiene una demanda de movilidad absoluta superior en el contexto E3.0. Estos planteamientos pueden resultar inicialmente un tanto sorprendentes. Sin embargo, debe tenerse presente que el modo carretera planteado en E3.0 es un modo de transporte radicalmente distinto al modo carretera en BAU. En efecto, el modo carretera en E3.0 es un modo totalmente electrificado y apoyado por un STI que proporciona elevados factores de capacidad, de tal forma que los consumos específicos que proporciona son de los más favorables entre todos los modos de transporte disponibles. En este contexto, el modo carretera pasa de ser un modo del que conviene alejarse desde el punto de vista del ahorro energético, a uno de los modos más favorables<sup>279</sup>. Por otro lado, el requisito de alcanzar un desplazamiento significativo del modo aéreo requiere de una fuerte implicación del modo carretera, actuando como facilitador del modo ferrocarril al optimizar el acoplamiento modal desde las estaciones terminales de la línea de ferrocarriles hacia los puntos de origen y destino de la demanda de movilidad: en este contexto, el modo carretera (también eléctrico como el ferrocarril, y con un consumo específico comparable), puede entenderse como una ramificación del modo ferrocarril para llegar hasta la puerta del origen y destino de las demandas de movilidad.

Un concepto importante que subyace en los planteamientos del contexto E3.0 es que una de las funciones del despliegue del STI es la optimización de aquellas infraestructuras de transporte que ya tenemos implementadas, y que por tanto constituyen una importante inversión energética, que debemos optimizar en el contexto de la operación global del sistema de transporte, siempre y cuando la participación de los modos de transporte que se apoyan en esas inversiones resulte favorable desde

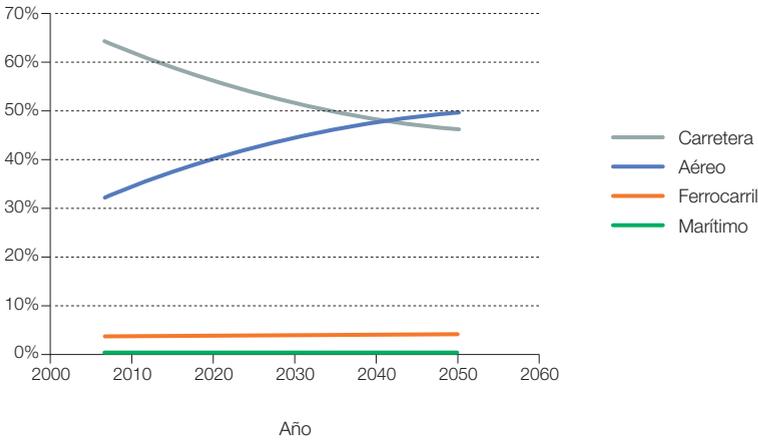
**278** Dado que el horizonte en el que se mueven las proyecciones de este informe resulta tan lejano, se denominará tren de alta velocidad a cualquier ferrocarril capaz de competir con los servicios proporcionados por la aviación, independientemente de la tecnología usada. Esto no significa que este tipo de ferrocarriles se haga, como ocurre en la realidad española, en detrimento del acceso a ciudades de menor población o de las líneas de media distancia cuyo objetivo es diferente del de sustituir el avión.

**279** Las implicaciones favorables del modo carretera van más allá de sus bajos consumos específicos, pues en el marco de un sistema energético integrado, este modo de transporte ofrece complementos muy favorables para el sistema eléctrico desde el punto de vista de la regulación asociada a la gestión de la demanda y a la participación activa en el sistema, mediante el V2G y la capacidad de acumulación distribuida que proporcionan las baterías de estos vehículos.

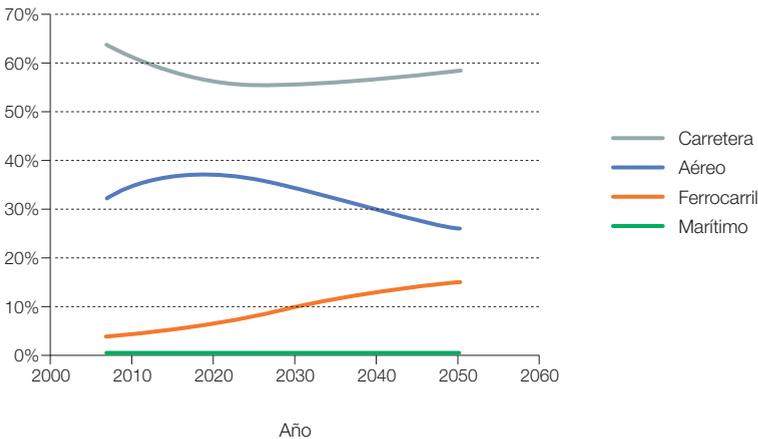
el punto de vista del conjunto del sector transporte. En este sentido, los modos de transporte carretera y ferrocarril son dos modos en los que ya hemos realizado una gran inversión en infraestructuras, y que permiten una operación energéticamente eficiente en el contexto E3.0 cuando se electrifican. Además, estos dos modos son modos fuertemente

infrautilizados en la actualidad, y el STI puede actuar de facilitador para mejorar el uso que hacemos de esas infraestructuras. Por lo que respecta al modo carretera, el principal motivo de su infrautilización actual es su operación caótica y totalmente ausente de inteligencia, seguido por los bajos factores de capacidad a los que conduce el uso del vehículo particular.

**Figura 97.** Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros en escenario BAU.



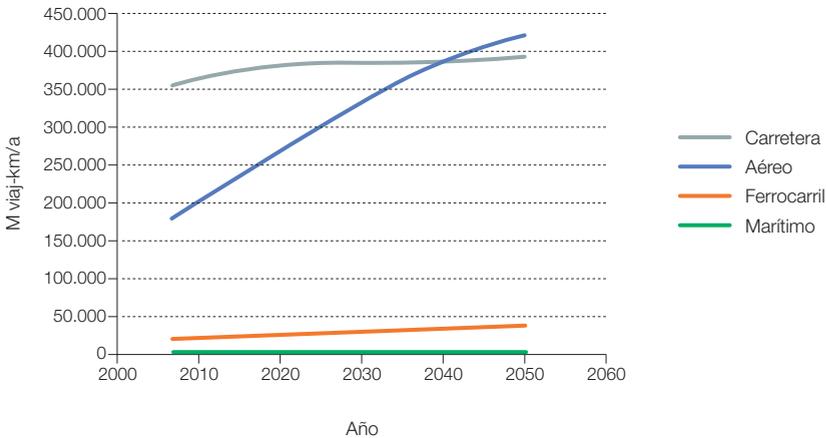
**Figura 98.** Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros en escenario E3.0.



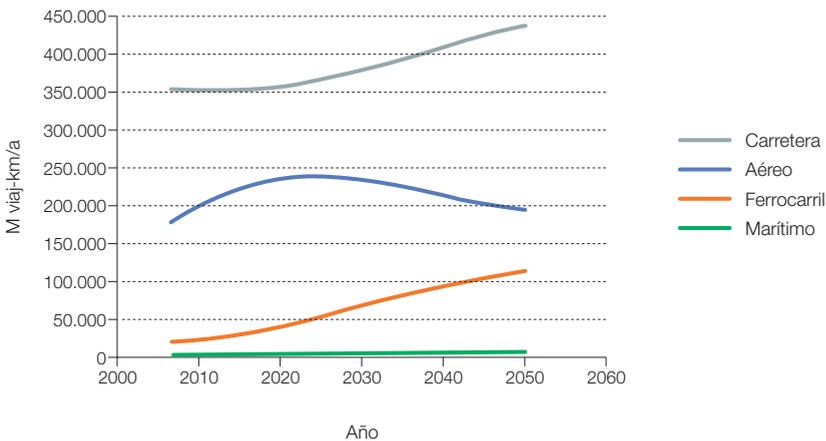
Por lo que respecta al ferrocarril su infrautilización está asociada tanto al bajo factor de capacidad como al uso poco eficiente del conjunto de la red disponible. Tanto para la carretera como para el ferrocarril el STI proporciona las herramientas para mejorar sensiblemente estos factores de ineficiencia.

También es preciso diferenciar la participación de los autocares en la cobertura de la demanda de movilidad por carretera, debido al diferente consumo específico respecto a los coches/motos. En la figura 101 recogemos el escenario correspondiente. En principio, esta diferenciación es más relevante en el contexto

**Figura 99.** Participación modal en la movilidad interurbana absoluta peninsular de viajeros en el escenario BAU.



**Figura 100.** Participación modal en la movilidad interurbana absoluta peninsular de viajeros en el escenario E3.0.



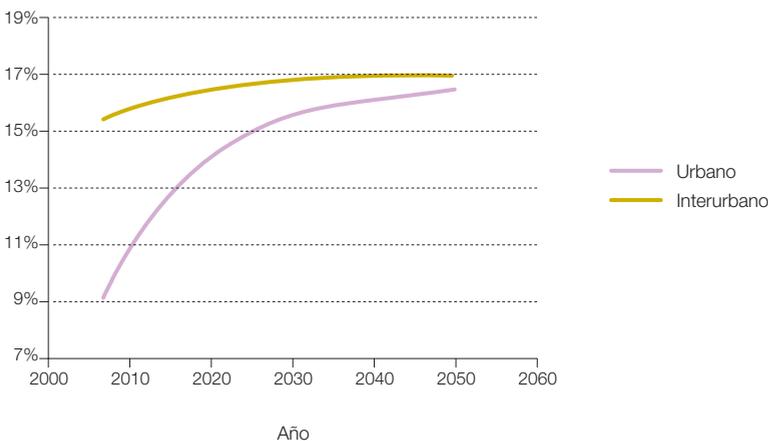
BAU, que es donde existe una mayor diferencia entre el consumo específico de coches y autocares. En efecto, en el E3.0, el STI acomoda los tamaños de los vehículos a la demanda de movilidad para alcanzar, en todos los casos, elevados factores de capacidad, empleando además vehículos principalmente eléctricos, de tal forma que las diferencias en consumo específico son menores.

Por último, también merece mención explícita la diferenciación dentro del modo carretera de los dos factores carretera particular y carretera colectiva, tal y como hicimos en el caso de la movilidad urbana. Para el caso de la movilidad interurbana el resultado que presentamos es el agregado de los dos submodos, que ya lleva implícita una fuerte transición del modo particular hacia el colectivo en el marco de un STI, dónde el término colectivo debe interpretarse de forma amplia, que abarque tanto esas situaciones en que la operación del vehículo está gobernada por el STI, como por aquellas en que la propiedad del vehículo es la que tiene el atributo de colectivo (transporte

público), dominando probablemente esta segunda acepción del término colectivo durante los primeros años del escenario.

En efecto, en el campo del transporte no urbano por carretera es dónde más rápido<sup>280</sup> perdería sentido la propiedad particular de los vehículos, al desarrollarse un STI y un sistema económico inteligente en el que se apoye la transición del sector transporte hacia la sostenibilidad. La rigidez que supone la posesión de un vehículo particular para cubrir los requerimientos de movilidad interurbana, así como sus costes, permitirían en un contexto E3.0 una rápida transición en primera instancia hacia la situación en que el vehículo deja de ser de propiedad particular, de tal forma que se posibilita adaptar las características del vehículo a los requerimientos de cada demanda de movilidad sin las ataduras y rigideces asociadas a la posesión de un vehículo propio, y en segunda instancia a la evolución hacia la adquisición de servicios de movilidad que aumentan todavía más la flexibilidad.

**Figura 101.** Participación de los autocares/autobuses en la cobertura de la demanda de movilidad por carretera en el escenario BAU.



**280** En el caso de la movilidad urbana por carretera, el vehículo particular puede estar mucho mejor adaptado al requerimiento de movilidad para el que se usa, por lo que cabe prever que se pueda prolongar más la posesión particular del vehículo. Además, debido a la mayor ineficiencia energética en comparación con el modo carretera colectivo, es más relevante mantener por separado ambos submodos desde la perspectiva de elaboración de escenarios.

Ya en la actualidad estamos asistiendo al despegue de iniciativas en la dirección de la primera acepción de colectividad en el transporte por carretera<sup>281</sup>, que además actúan como facilitadoras a la introducción del vector electricidad en el transporte por carretera. Y a medida que vaya pasando el tiempo y vaya desarrollándose la incorporación de la inteligencia en el sistema de transporte, la tendencia de evolución previsible en esta dirección es a la progresión del alcance colectivo desde la propiedad del vehículo hasta el servicio completo de movilidad<sup>282</sup>.

### 3.6.2.6 Escenarios de reparto modal en movilidad no urbana de mercancías

Pasamos a continuación a presentar los escenarios BAU y E3.0 adoptados para el transporte interurbano de mercancías. En primer lugar, resulta conveniente recordar una vez más que los escenarios desarrollados en este estudio incorporan el 50% de transporte internacional, motivo por el cual los porcentajes de peso modal no coinciden<sup>283</sup> con los de muchas referencias que se limitan al transporte interior.

En las figuras 102 a 106 presentamos para cada uno de los modos considerados, la evolución histórica del peso modal y los correspondientes escenarios BAU y E3.0.

Por lo que se refiere al transporte de mercancías por tubería, planteamos para el contexto BAU un escenario tendencial mediante el ajuste exponencial de los valores históricos. Para el caso E3.0, por un lado cabría esperar una reducción más fuerte de la participación de este modo debido a la desaparición de los combustibles fósiles<sup>284</sup>, pero por otro lado cabría plantearse que en el contexto E3.0 quedan otros elementos susceptibles de ser

transportados por tubería (gas de síntesis producto de la gasificación de la biomasa, biocombustibles líquidos, hidrógeno generado con renovables, etc.). Sin embargo, finalmente adoptamos para el contexto E3.0 el mismo escenario que para el contexto BAU por los siguientes motivos:

- La tendencia de crecimiento de la demanda de movilidad por los otros modos.
- Se intenta reducir en este estudio las aplicaciones cubiertas con biocombustibles e hidrógeno por motivos de escasez de recurso y de eficiencia.
- En cualquier caso representa una pequeña fracción de la demanda de movilidad de mercancías.

Para el caso del transporte aéreo de mercancías, en el contexto BAU planteamos un escenario de estabilización de su peso modal en un valor cercano a los actuales y al promedio histórico. En el contexto E3.0 planteamos un escenario con una mayor reducción, que a pesar de todo conduce a un valor final de movilidad absoluta de mercancías por avión ligeramente superior al actual. De cualquier forma, el transporte de mercancías por avión también constituye una fracción muy pequeña de la demanda total de movilidad de mercancías.

En el caso del transporte de mercancías por ferrocarril es donde encontramos la primera diferenciación importante entre los contextos BAU y E3.0.

En el contexto BAU, para la movilidad de mercancías por ferrocarril consideramos un escenario ligeramente más favorable que la tendencia histórica exponencial, que conduciría prácticamente a una eliminación de la

**281** Iniciativas como la oferta de servicios de movilidad Mu by Peugeot, en cierta medida, los de car-sharing van completamente en esta línea de desprender a los usuarios de los vehículos de la rigidez y servidumbre asociada a la posesión particular de un vehículo, permitiendo además reducir de forma significativa la inversión energética asociada a la fabricación de vehículos. Otras iniciativas como las que Better Place está desplegando en distintos países para la introducción del vehículo eléctrico, también van parcialmente en esta dirección, al hacer que el componente más caro del vehículo eléctrico deje de ser de propiedad particular.

**282** Sin embargo, el potencial de la aplicación de la inteligencia en la optimización de la operación del transporte por carretera probablemente sea más limitado en el caso de los desplazamientos interurbanos que en los urbanos, por ser en estos últimos donde se concentran las situaciones de congestión asociadas a un uso ineficiente de la infraestructura de transporte por carretera.

**283** En nuestro caso encontramos un mayor peso de los modos marítimo y aire, y un menor peso del modo carretera, debido a que el transporte internacional es donde los modos marítimo y aire encuentran su mayor aplicación.

**284** Actualmente, el transporte por tubería se emplea exclusivamente para el transporte de combustibles fósiles líquidos y gaseosos. Es posible plantearse el transporte por tubería de otros tipos de mercancía, pero tal y como veremos en el punto siguiente la eficiencia de este modo de transporte a igualdad de velocidades es considerablemente inferior a la de otros modos.

participación de este modo para la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías.

En el caso del contexto E3.0, para la movilidad de mercancías por ferrocarril planteamos un fuerte incremento como sustituto del transporte por carretera. Este cambio modal, en parte viene facilitado por el enfoque intermodal coordinado del STI<sup>285</sup>, y conduce a que este modo alcance al final del escenario un peso relativo considerablemente superior al histórico, y valores absolutos de movilidad muy superiores. De hecho, el cambio planteado para el ferrocarril podría verse como muy radical, pero viene impulsado por la necesidad de absorber una parte importante de la movilidad por carretera, que en principio puede resultar más problemática de electrificar por completo<sup>286</sup>.

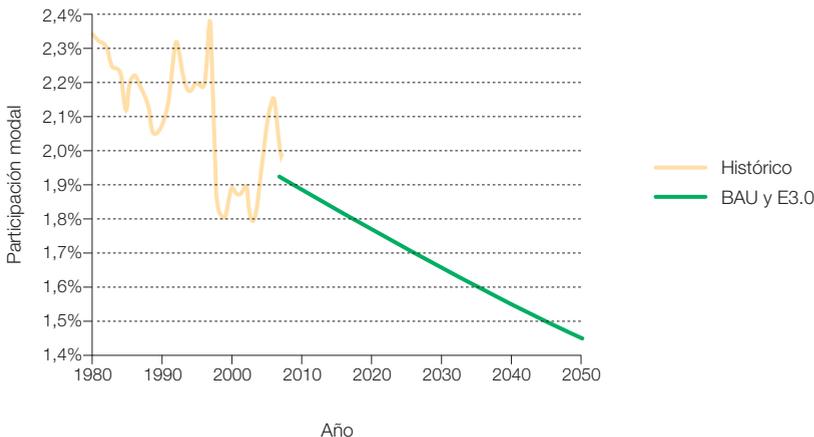
Pero para el transporte de mercancías, la opción de camiones eléctricos con reposición de baterías en destino final y por una red de electrolineras distribuidas por las rutas principales

también puede resultar adecuada<sup>287</sup>. En estas condiciones, y con elevados factores de capacidad potenciados por el STI, los camiones eléctricos podrían incluso ser más eficientes que el tren. Pero cabe esperar un retraso en la introducción del camión eléctrico a gran escala, por lo que este déficit de electrificación del modo carretera se puede cubrir con un mayor ritmo de crecimiento de la participación modal del tren.

Por lo que respecta al transporte marítimo de mercancías, en el contexto BAU suponemos una tendencia a la estabilización hacia el mayor valor histórico. En el contexto E3.0 plantemos tan solo un ligero incremento de la participación modal. No creemos que sea justificable plantear escenarios de mayores incrementos del peso modal del transporte marítimo debido a que:

- Su participación modal ya parte de un valor muy elevado y está dominada por las importaciones del exterior.

**Figura 102.** Peso modal de la movilidad interurbana de mercancías por tubería. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.



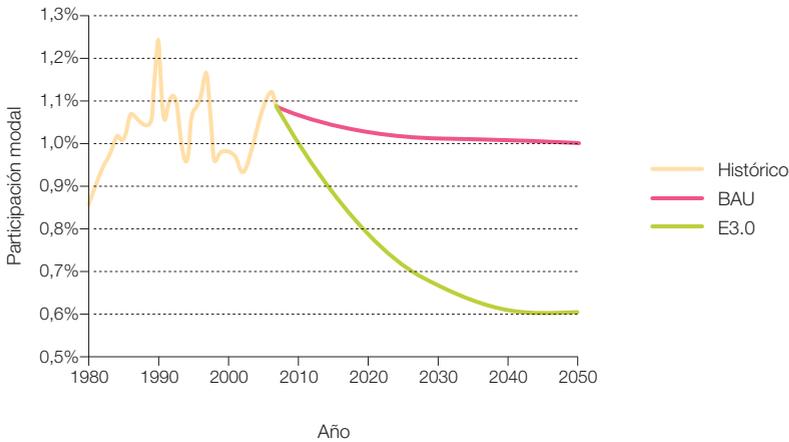
**285** Incluyendo un sistema logístico inteligente.

**286** En principio, solo una pequeña parte del transporte de mercancías interurbano por carretera es fácilmente electrificable (el del entorno de los núcleos urbanos, que incluye al intermodal para conectar con el ferrocarril) para acceder al conjunto de los recursos renovables con rendimientos elevados. El resto, en principio deberá ser cubierto con biocombustibles (limitaciones de disponibilidad de recursos) e hidrógeno (penalización energética). Pero también existe la opción de desplegar una gran infraestructura de electrolineras para reponer y recargar las baterías de los camiones pesados, que a priori puede parecer una opción más difícil de implementar, pero realmente no queda tan alejada de los planteamientos actuales, en un contexto donde el volumen de movilidad de mercancías por carretera se reduce significativamente.

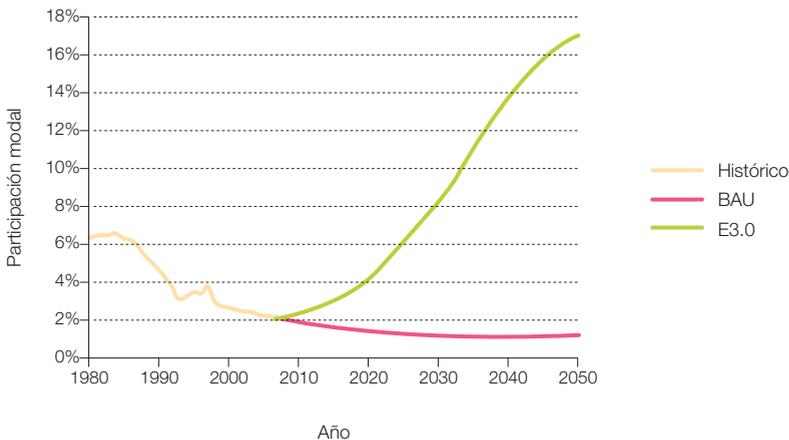
**287** Tanto desde el punto de vista de eficiencia energética como desde el punto de vista de integración del sistema energético, pues los centros de recarga de las baterías de los camiones podrían proporcionar una contribución importante a la regulación del sistema eléctrico, tanto por su capacidad de acumulación distribuida como por el potencial de GDE.

- La configuración de España (península) hace que la mayoría de la movilidad de mercancías que venga de fuera ya lo haga actualmente por barco (a diferencia de otros países).
- Podríamos plantear un ligero incremento en la movilidad interurbana nacional por barco, pero no parece que puedan llegar a ser grandes cantidades<sup>288</sup>.

**Figura 103.** Peso modal de la movilidad interurbana de mercancías por avión. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.



**Figura 104.** Peso modal de la movilidad interurbana de mercancías por ferrocarril. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.

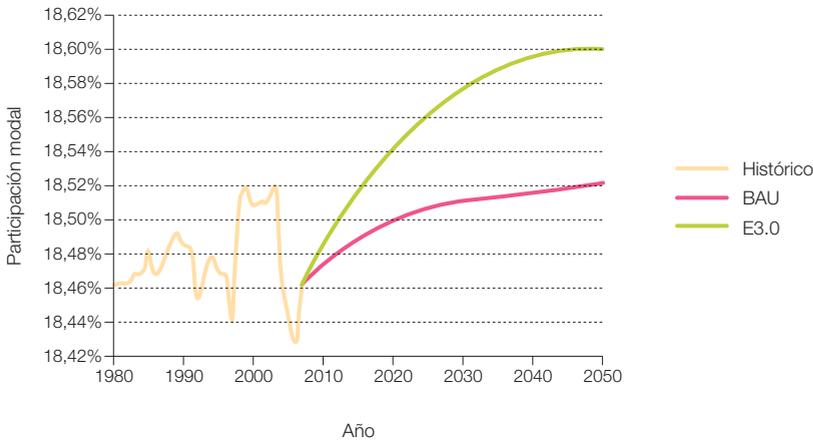


<sup>288</sup> En efecto, solo tendría sentido entre ciudades costeras y a menudo a costa de mayores recorridos, por lo que se pierde el efecto de la eficiencia adicional del barco en las mayores distancias. Con un sistema logístico inteligente que permita operar el transporte de carretera a elevados factores de capacidad, el margen de mejora asociado a los barcos de cabotaje no es tan elevado como para justificar el intento de forzar este modo.

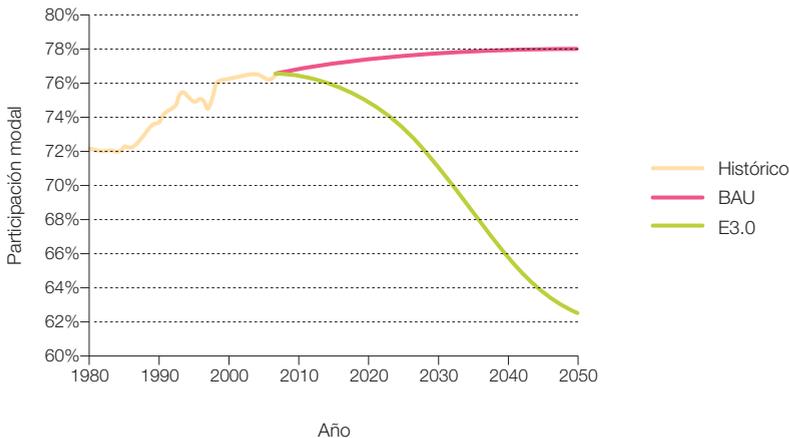
Por lo que respecta al transporte de mercancías por carretera, en el contexto BAU planteamos un escenario tendencial, sin embargo aplicamos tasas de crecimiento decrecientes a lo largo del periodo considerado, de tal forma que el peso modal del transporte de mercancías por carretera tiende a estabilizarse

con valores del orden del 78% al final del escenario considerado. Por lo que respecta al contexto E3.0, planteamos un escenario que alcanza su máxima participación modal en torno a la actualidad, para posteriormente evolucionar con tasas decrecientes<sup>289</sup> a un mayor ritmo al principio, por forzar el cambio modal

**Figura 105.** Peso modal de la movilidad interurbana de mercancías por barco. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.



**Figura 106.** Peso modal de la movilidad interurbana de mercancías por carretera. Evolución histórica y escenarios BAU y E3.0.



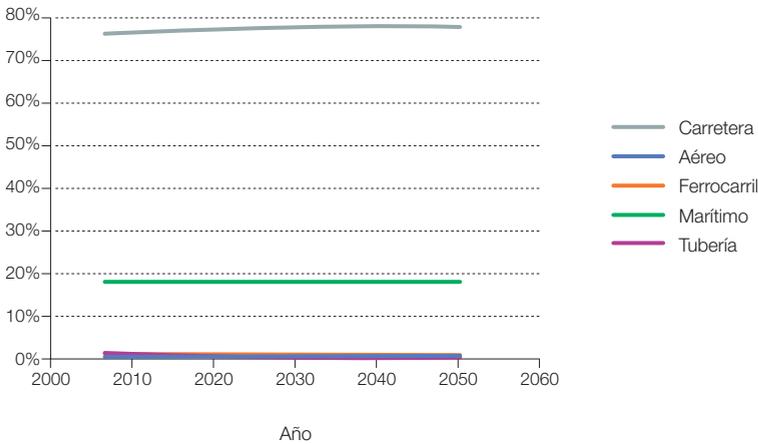
**289** Planteamos esta tendencia decreciente a pesar de la gran eficiencia del camión eléctrico, por considerar que cabe esperar que se retrase su desarrollo y el STI saque el máximo provecho del ferrocarril.

hacia el ferrocarril, para reducirse posteriormente el ritmo de decrecimiento a medida que empiecen a introducirse los camiones eléctricos para transporte de mercancías.

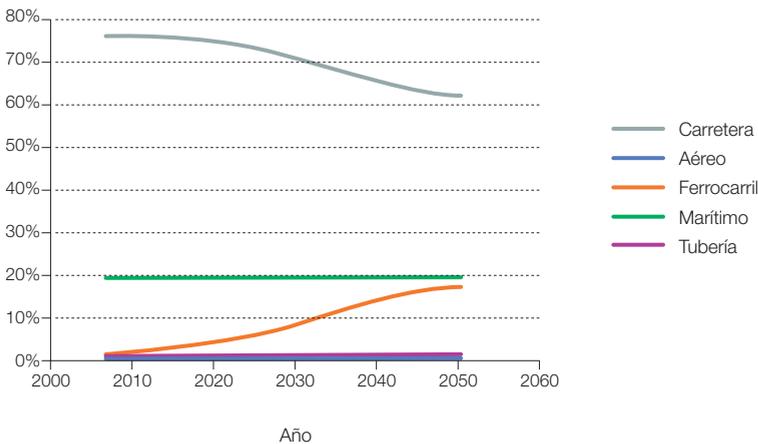
En las figuras 107 y 108 recogemos la evolución del reparto modal de los distintos modos

para la movilidad no urbana de mercancías en los contextos BAU y E3.0. Como podemos observar, tanto en BAU como en E3.0 el modo carretera sigue dominando a los demás modos para el transporte de mercancías. La diferencia entre ambos contextos es que en el contexto E3.0 se inicia una transición modal

**Figura 107.** Escenario evolución modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU.



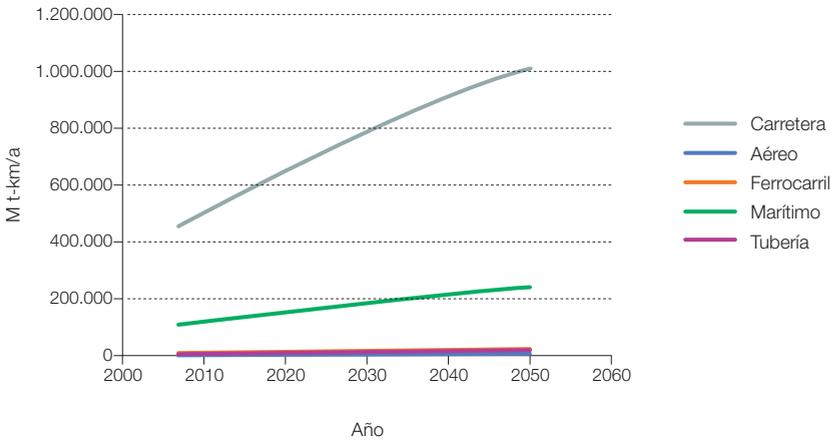
**Figura 108.** Escenario evolución modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto E3.0.



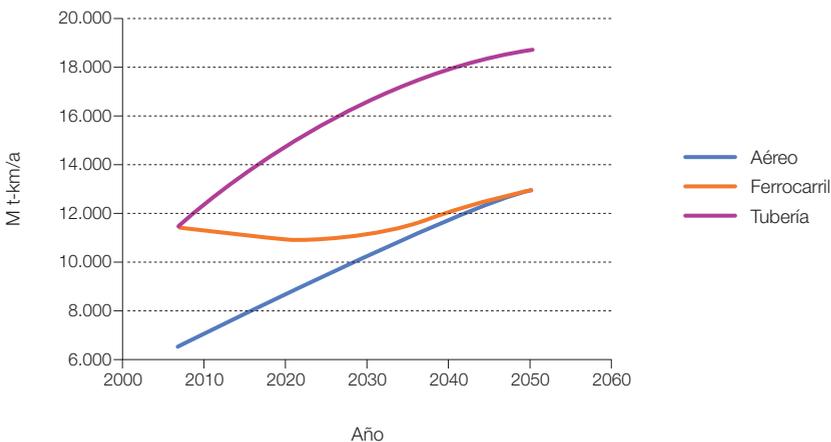
de la carretera hacia el ferrocarril impulsada por el STI, y el sistema logístico inteligente para sacar el máximo provecho de la red ferroviaria actual, y de la mayor eficiencia del modo ferrocarril respecto al modo carretera alimentado por combustibles. Con el tiempo, la opción del camión eléctrico va extendiéndose,

con su mayor flexibilidad y una eficiencia muy cercana a la del modo ferroviario, y la red ferroviaria va saturándose, por lo que la tendencia en E3.0 es a la estabilización de los modos carretera y ferrocarril en unos valores asintóticos más cercanos, pero todavía claramente dominados por el modo carretera.

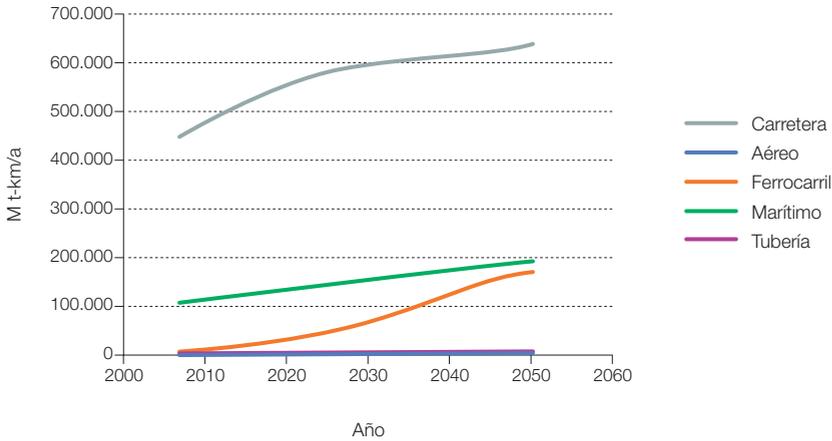
**Figura 109.** Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU: Todos los modos.



**Figura 110.** Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU: Excluyendo modos dominantes de carretera y barco.



**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.

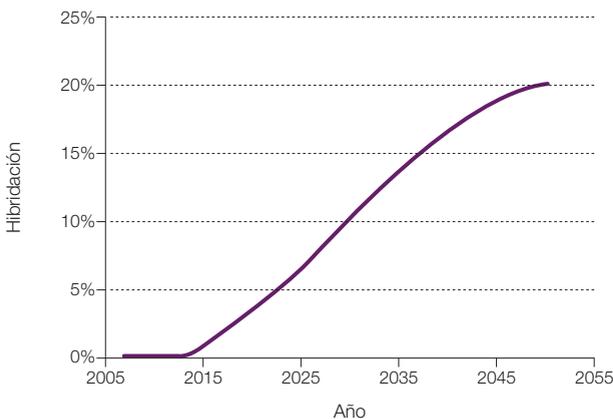
### 3.6.3.1 Escenarios de transporte en coches

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 podemos alcanzar con los medios de transporte más eficientes, pero mucho más inelásticos, y además proporciona herramientas muy valiosas para regular un sistema energético integrado.

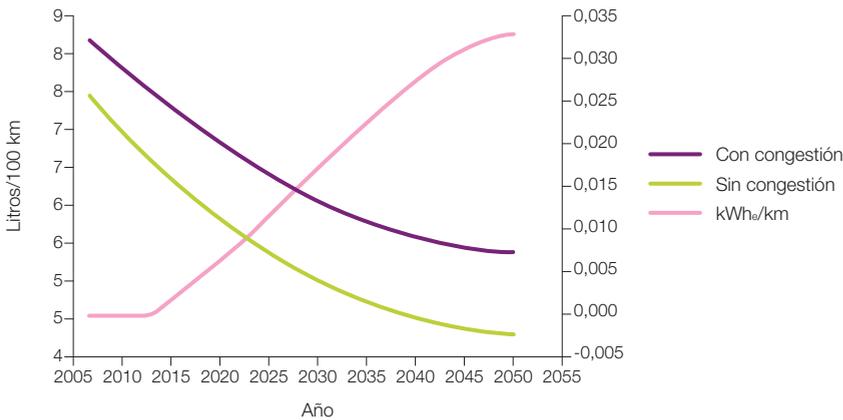
Figura 112. Escenario de hibridación del parque de coches en el contexto BAU.



**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

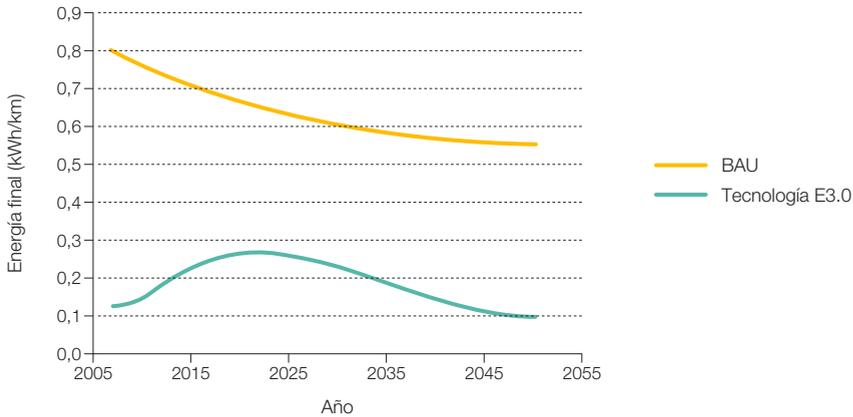
**294** Aquí definimos la hibridación como el porcentaje del consumo fósil que es sustituido por electricidad, y se refiere al promedio del parque de coches.

**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.

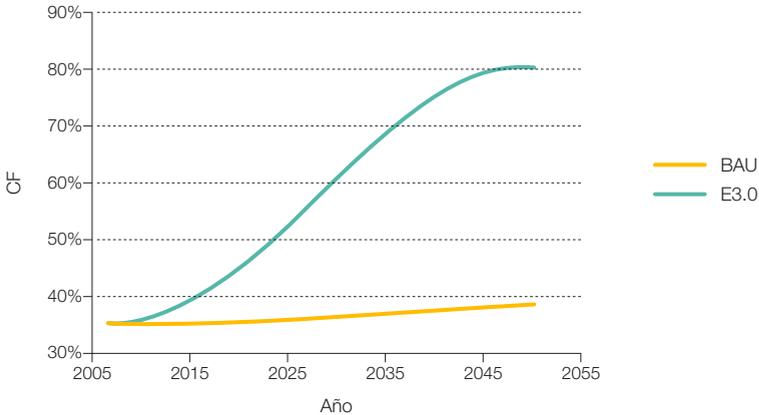
En el contexto E3.0, la implementación de un STI permite aumentar de forma muy significativa el CF con el que se usa el coche. En este contexto el coche va evolucionando progresivamente hacia una situación de servicio colectivo desde su condición actual de servicio particular. En estas condiciones, los 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.

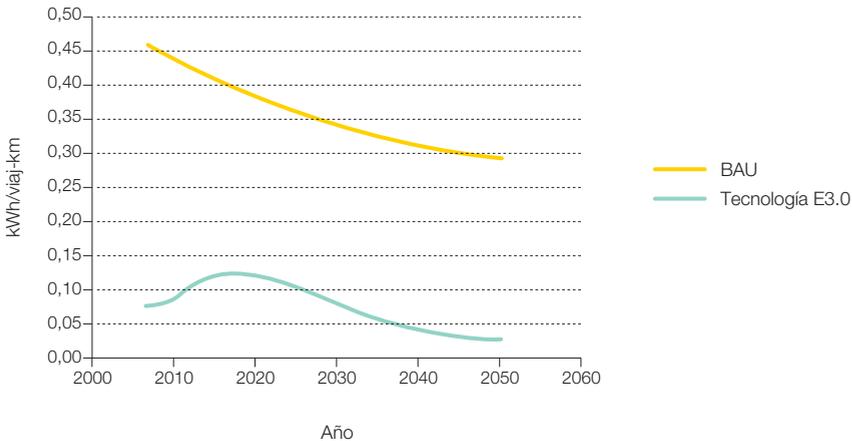
**299** Hay elementos culturales muy arraigados relacionados con la propiedad particular de los coches, y no hay necesidad de hacer depender la transición del sistema de transporte de la superación de estos aspectos culturales, pues sus plazos de respuesta son más dilatados de los necesarios y disponibles 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.

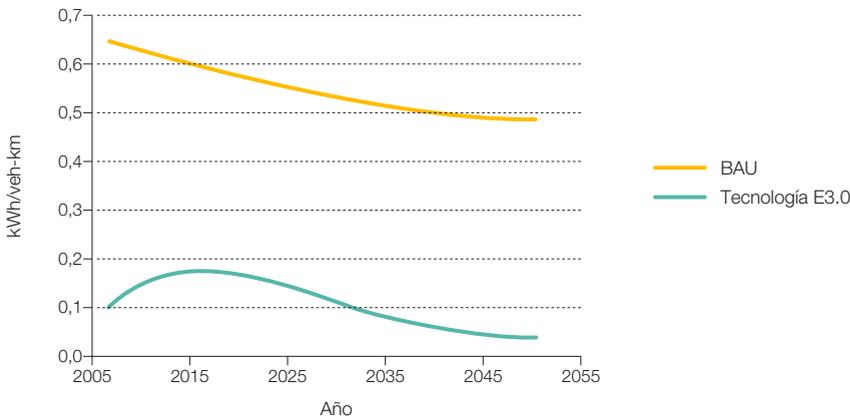
En la figura 121 podemos comparar los escenarios tecnología E3.0 de coches y motos por vehículo. Como podemos ver, excepto en torno al año 2010 en que ambos vehículos presentan un consumo del mismo orden de magnitud, en el resto del escenario el consumo del coche es sensiblemente superior al de la moto.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

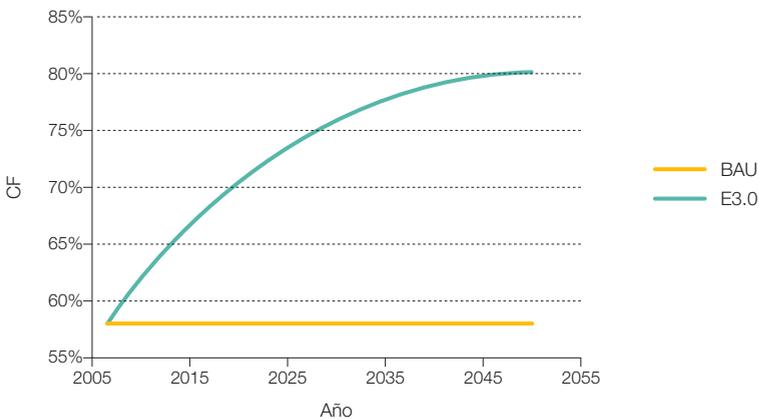


Figura 120. Escenarios BAU y E3.0 del consumo específico por unidad de movilidad de las motos.

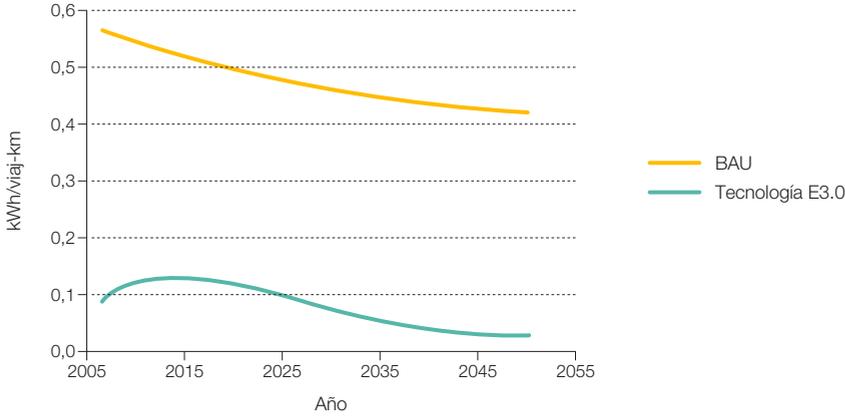
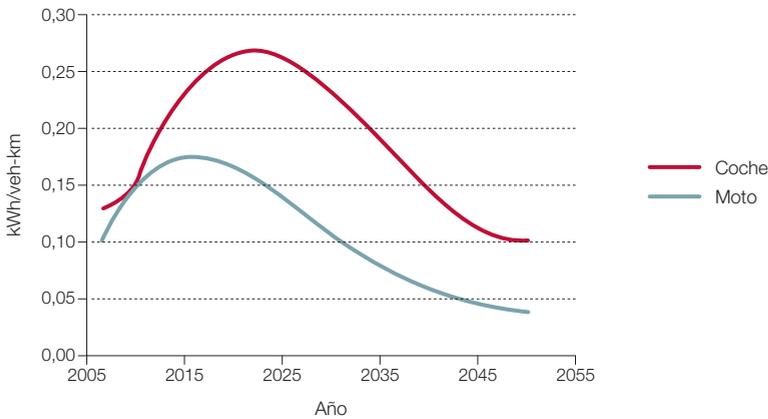
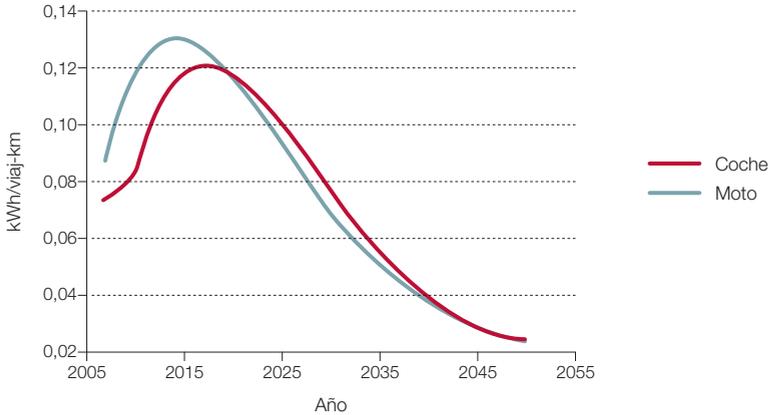


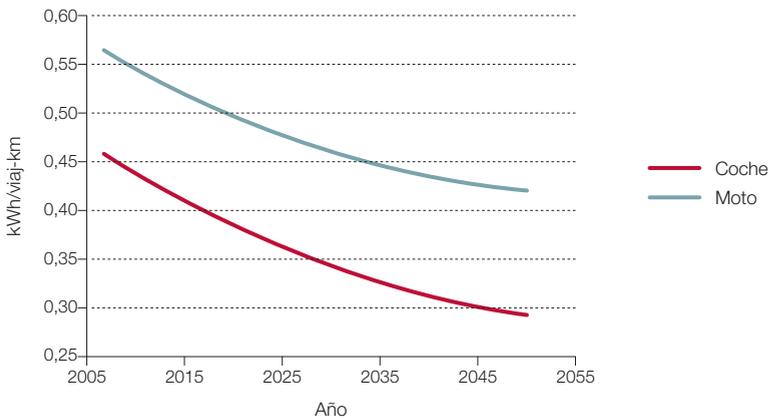
Figura 121. Comparativa de los escenarios de consumo específico por vehículo de los coches y motos de la tecnología E3.0.



**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.

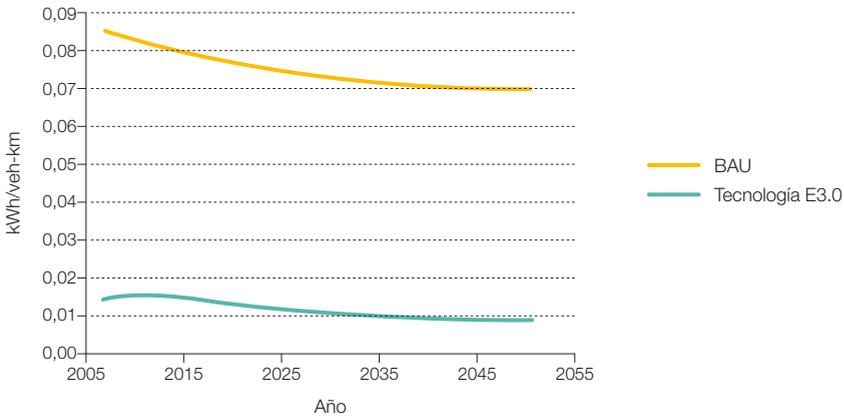
**310** En el caso de los autobuses urbanos si que supondremos una cierta hibridación del parque en el contexto BAU porque se dan condiciones diferenciales respecto a los autocares.

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

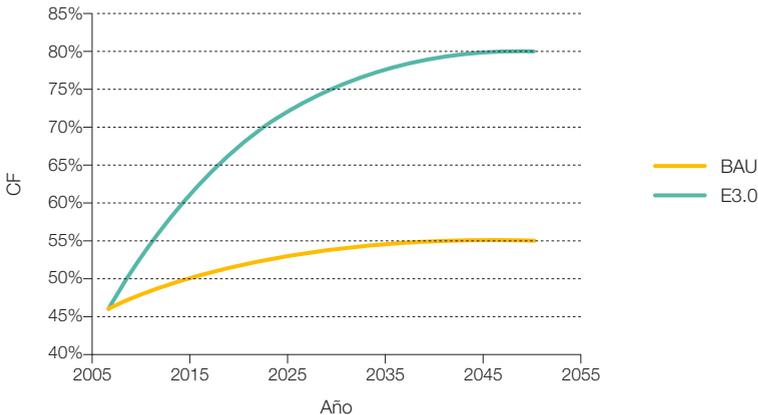
**312** Por ejemplo, actualmente no es extraño encontrarse autocares de 65 plazas transportando un solo viajero a lo largo de un trayecto mucho más largo del necesario para ajustarse a un recorrido preestablecido sin considerar la demanda real de movilidad (nadie entra en el autocar en todas esas paradas 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.

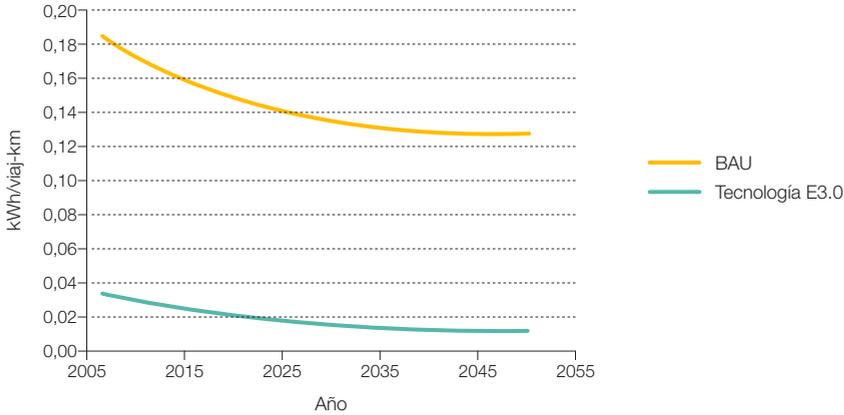
**Figura 124.** Comparativa de los escenarios de consumo específico por vehículo de los autocares para los contextos BAU y tecnología-E3.0.



**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).

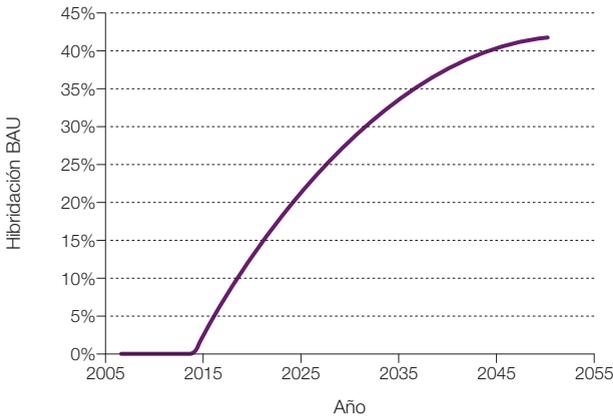
En la figura 128 mostramos el escenario asumido para la hibridación<sup>315</sup> del autobús en el contexto BAU.

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.

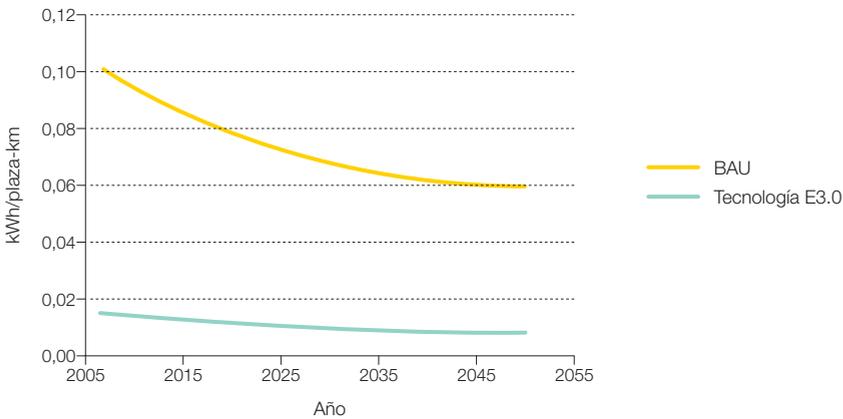


Figura 130. Escenarios de factor de capacidad del autobús en los contextos BAU y E3.0.

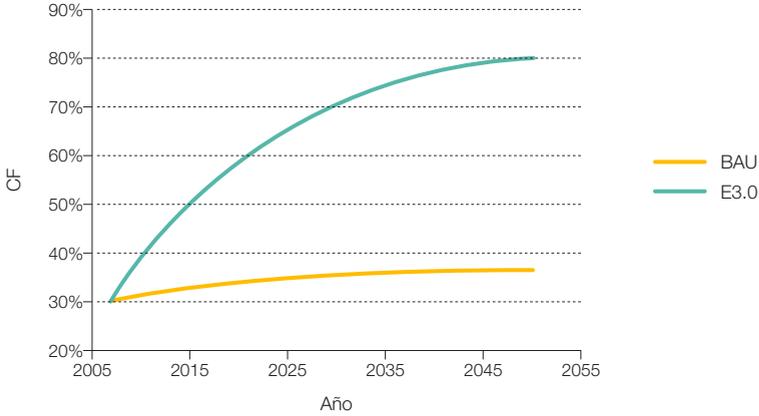
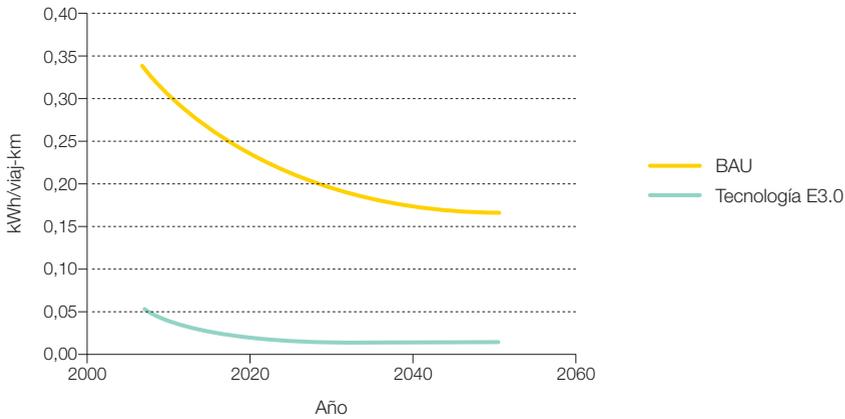


Figura 131. Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el autobús en los contextos BAU y tecnología-E3.0.



### 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).

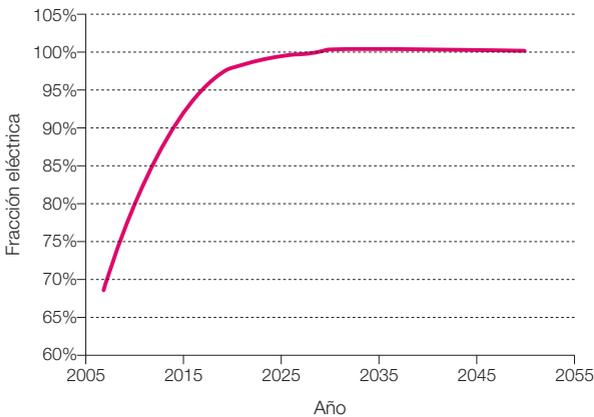
**317** E incluso a los países vecinos.

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

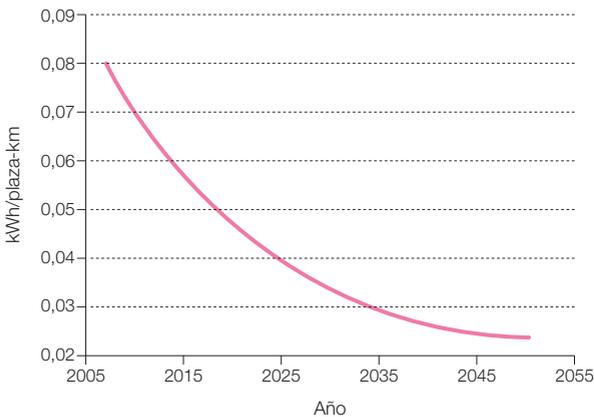
los escenarios. La electrificación asumimos que es común a los contextos BAU y E3.0.

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.



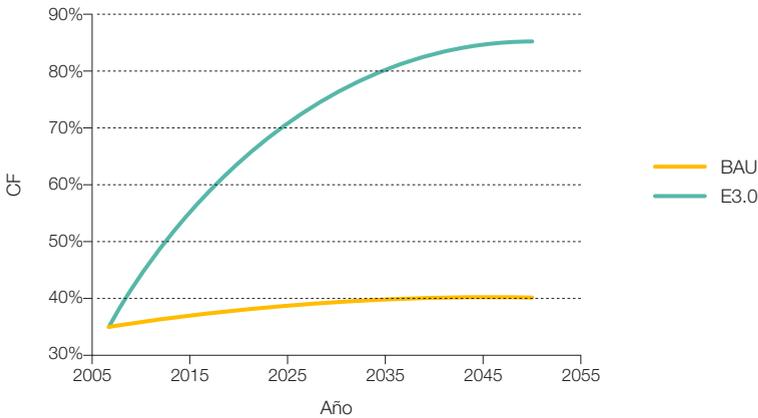
318 Nótese que ya incorpora escenario de transición.

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

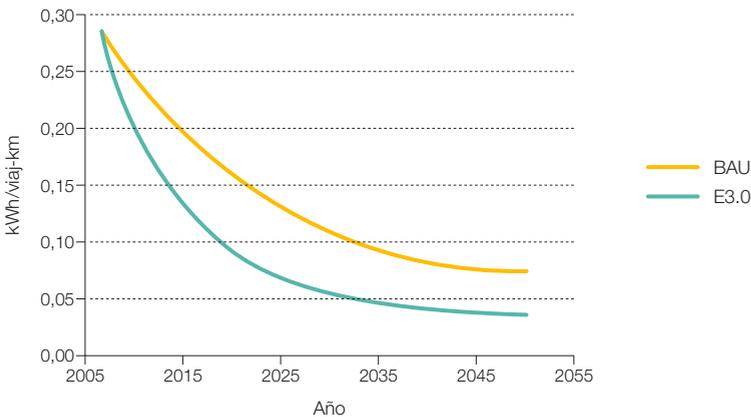
permiten progresar mucho más rápido en la mejora del CF.

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

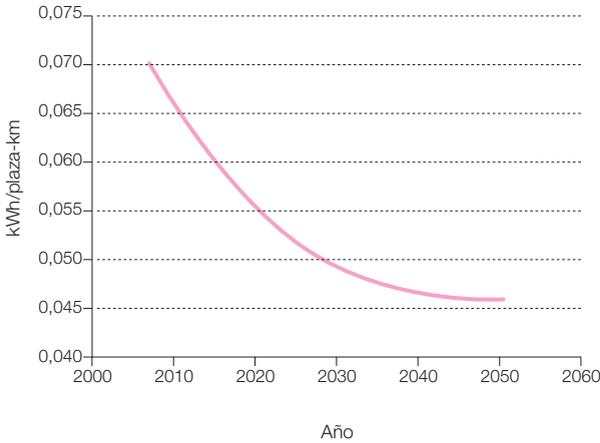
**Figura 134.** Escenarios de factor de capacidad del tren para los contextos BAU y E3.0.



**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 evolucionarán 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.

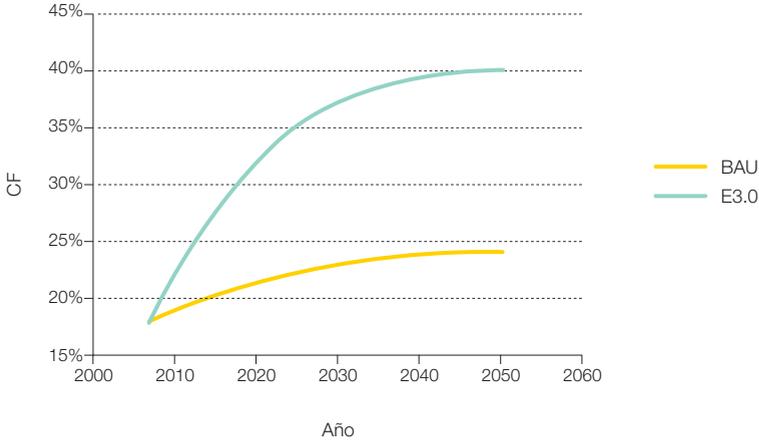
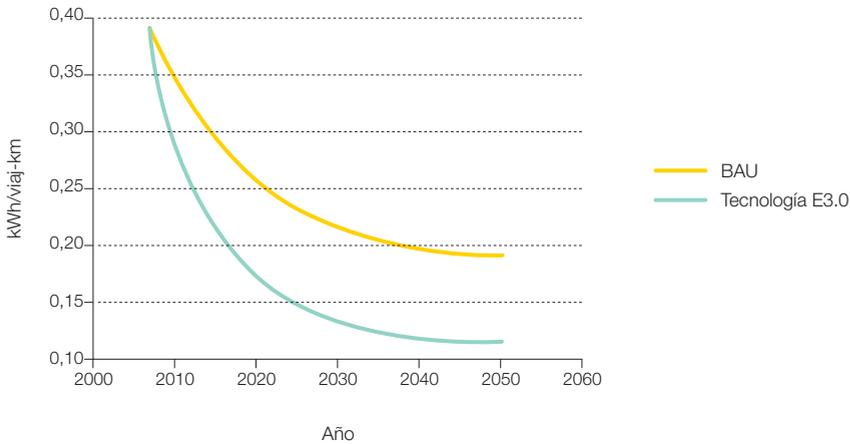


Figura 138. Consumo específico por unidad de movilidad para el metro en los contextos BAU y E3.0.



### 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.

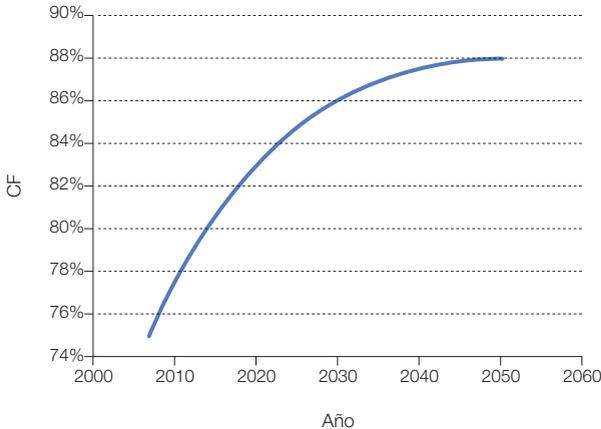
<sup>322</sup> Avión que vuela pegado al mar (efecto suelo para sustentación), que le permite alcanzar un consumo del orden de la mitad del consumo de un avión por el aire. Las limitaciones de vehículo respecto al avión convencional es no poder operar por encima de tierra firme, y a menores velocidades.

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

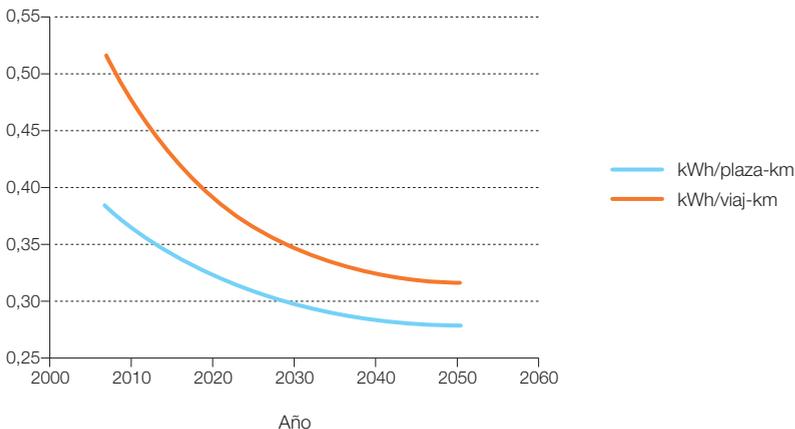
son prácticamente las únicas herramientas disponibles<sup>323</sup>.

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

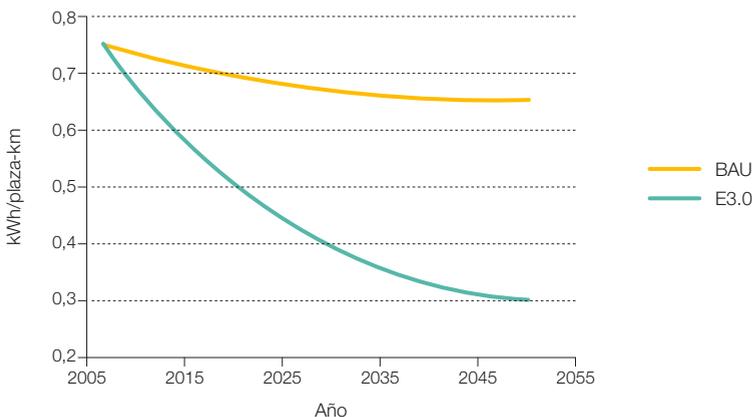
El modo marítimo para el transporte de viajeros es, en nuestro país, relativamente poco importante, y en los escenarios de demanda de movilidad que hemos elaborado, incluso en el contexto E3.0, sigue teniendo un peso relativamente pequeño.

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.



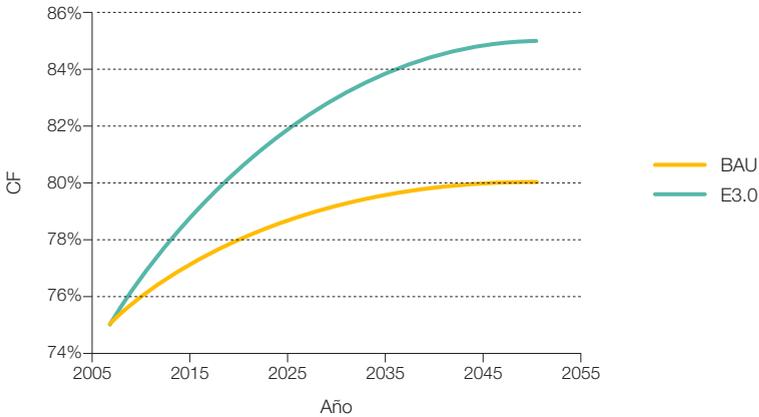
**324** Por lo que respecta al aire comprimido, sus densidades de potencia son menores que en las baterías, y sus características de descarga menos apropiadas para las condiciones de operación de los barcos (largos tiempos de descarga a potencia constante), por lo que tampoco la hemos considerado.

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.

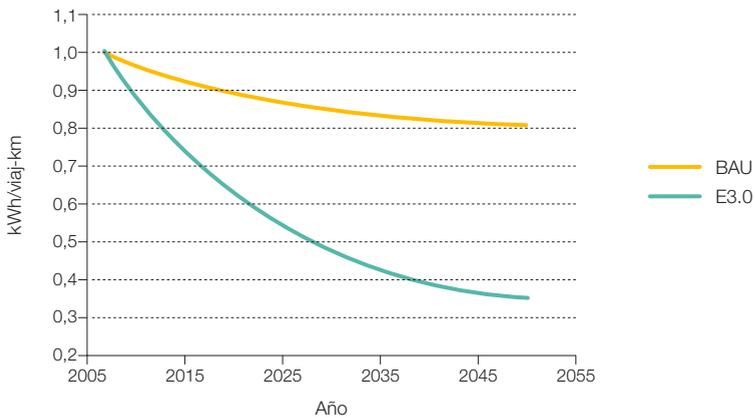
En la figura 141 mostramos la evolución del consumo específico del parque de barcos por

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 prevemos 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

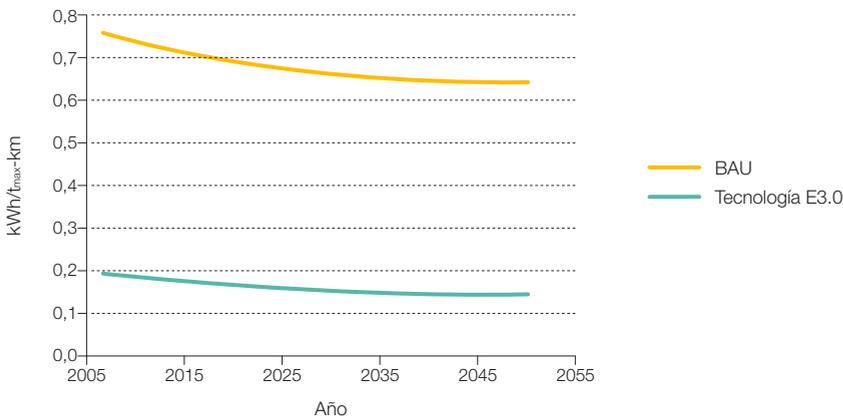
Para el caso del transporte urbano de mercancías el único modo es por carretera.

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

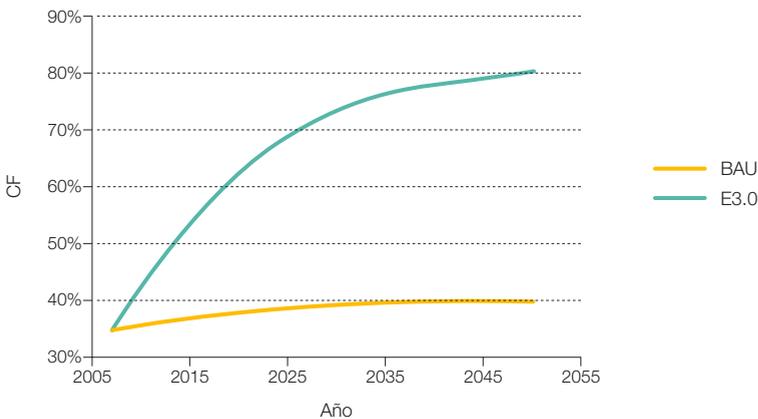
En este contexto consideramos que todos los vehículos operan con combustible, es decir, no consideramos la hibridación<sup>327</sup>.

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.

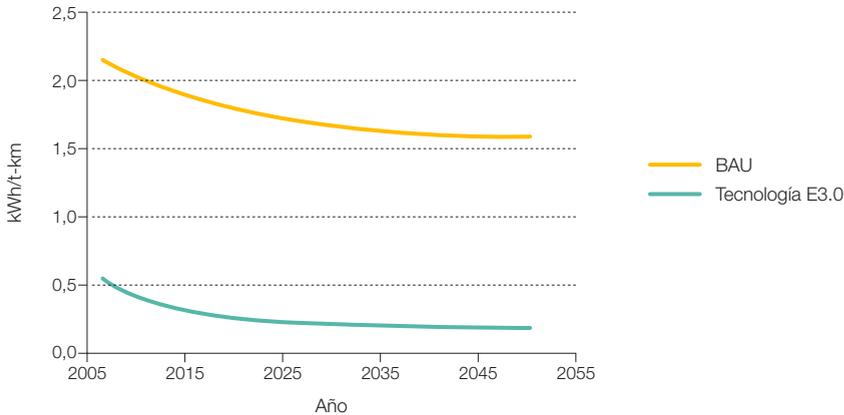


**Figura 145.** Escenarios de factor de capacidad para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y E3.0.



**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.

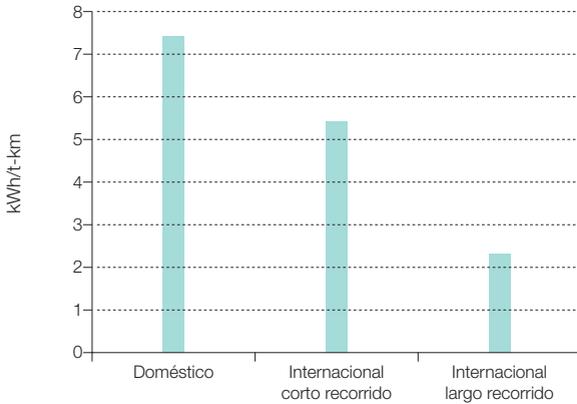
Si observamos la estructura actual de consumos específicos de este modo de transporte de mercancías, podemos ver que, con diferencia, la mayor ineficiencia está asociada al transporte a corta distancia, que es precisamente el que es susceptible de ser sustituido por otros modos de transporte (figura 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.

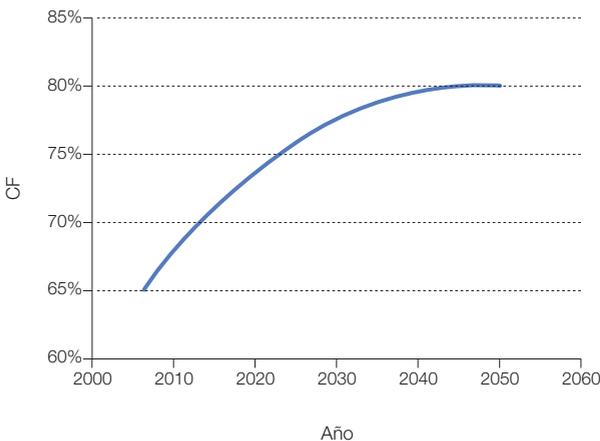
Según estos argumentos, y dada la limitada participación de este modo tanto en el contexto BAU como en el E3.0, planteamos un escenario común para ambos contextos, en los que se consigue una reducción del consumo específico tanto por mejoras técnicas, como

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.

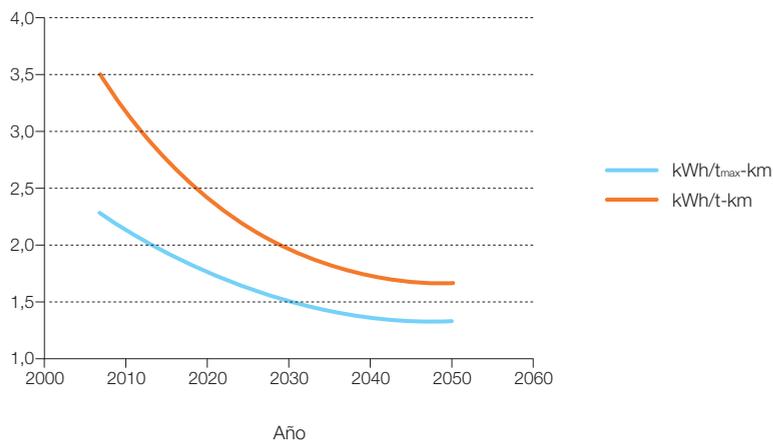
**Figura 147.** Valor actual del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por avión, según (DEFRA, 2009).



**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

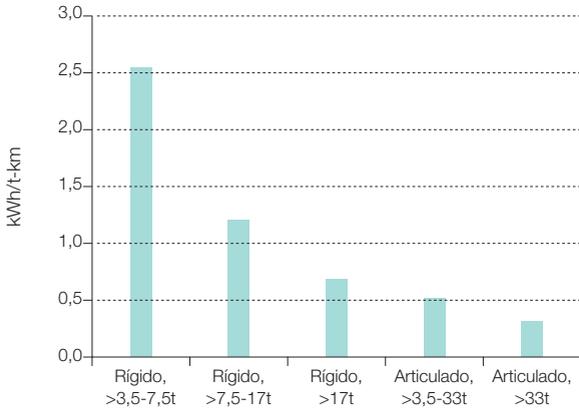
mucho la evolución de los factores de capacidad medios con los que se usa la flota de camiones. Planteamos, por tanto, para el CF unos escenarios con un ligero crecimiento a lo largo del periodo considerado, tanto para los grandes camiones como para los medianos. Por lo que respecta a la fracción de 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.

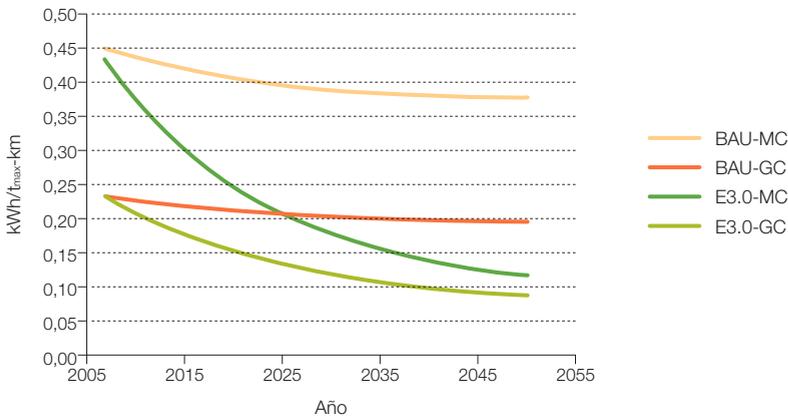
<sup>332</sup> Nótese que, a pesar de la gran hibridación planteada (90% en camiones medianos y 70% en los grandes para 2050 en términos de movilidad), el 57,8% del consumo en 2050 sigue siendo combustible (debido a la mayor eficiencia de la tracción eléctrica).

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

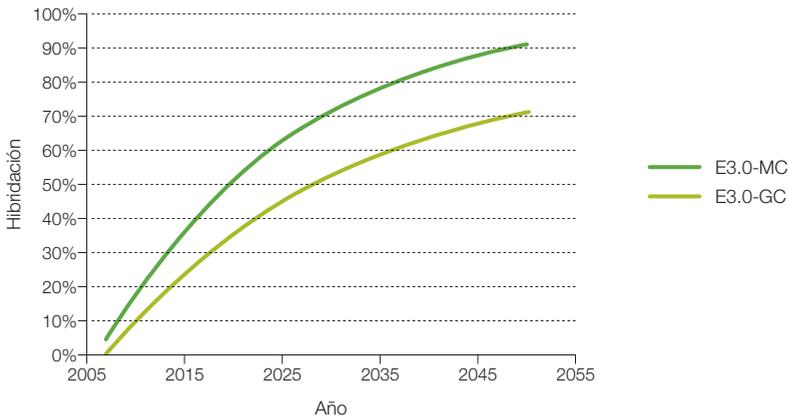
ambos contextos BAU y tecnología-E3.0. La figura 155 muestra los escenarios de participación de los camiones medianos en la flota total de camiones en términos de movilidad

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.

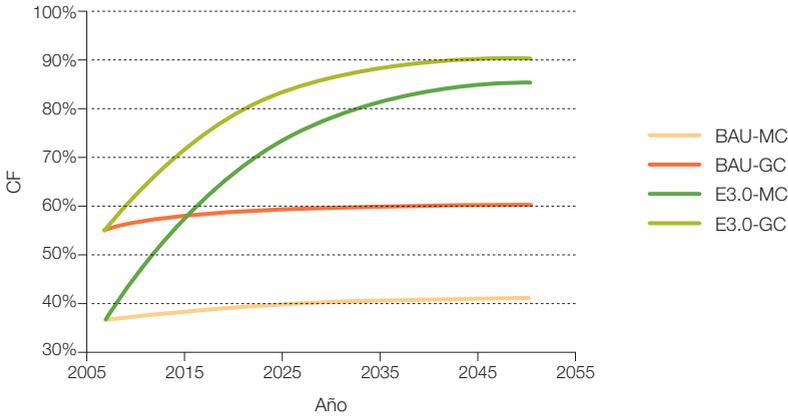
**Figura 151.** Escenarios de consumo específico por capacidad de carga para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).



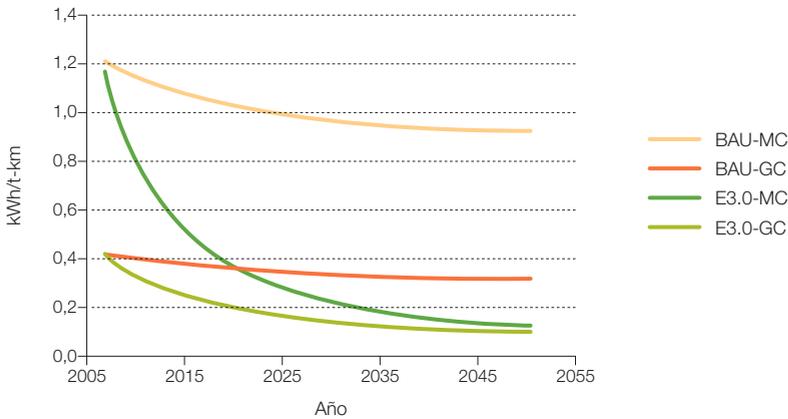
**Figura 152.** Escenarios de hibridación (en términos de cobertura de la demanda de movilidad) de los camiones medianos (MC) y grandes (GC) en el contexto E3.0.



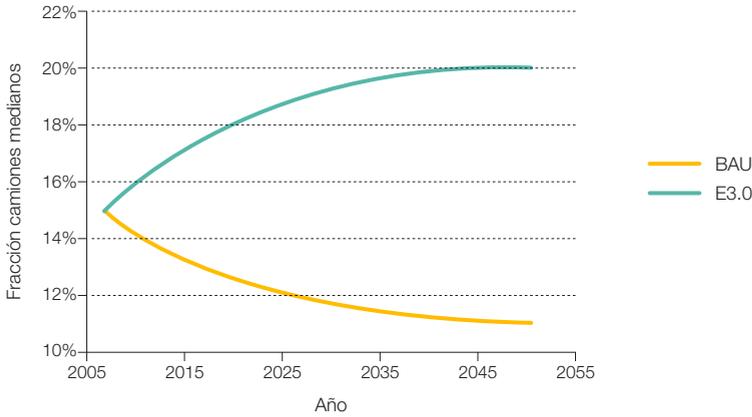
**Figura 153.** Escenarios de factor de capacidad para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).



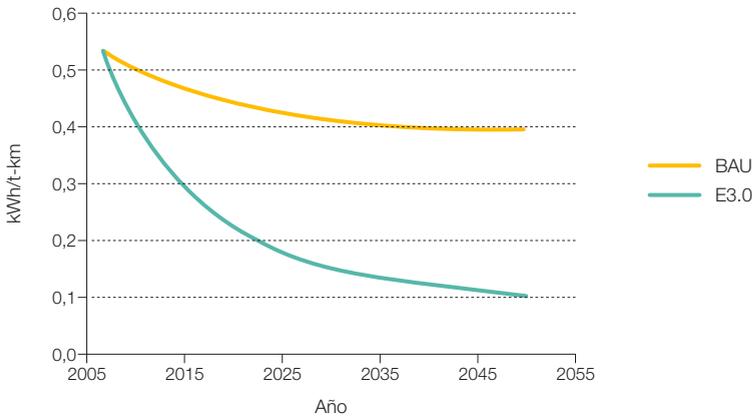
**Figura 154.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).



**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.

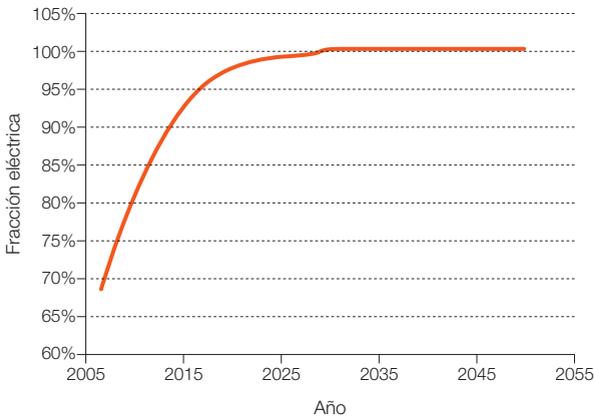


### 3.6.3.12 Escenarios de transporte de mercancías en ferrocarril

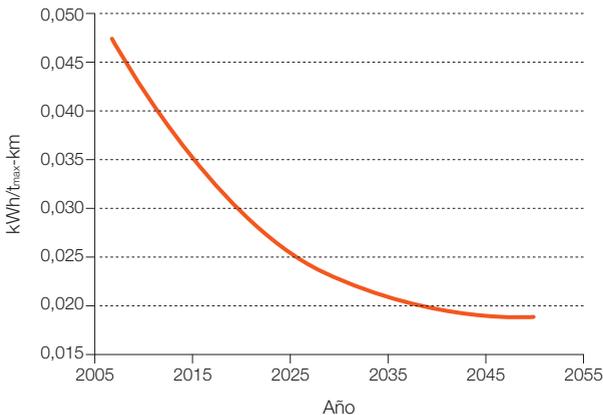
Para los escenarios relativos al transporte de mercancías por ferrocarril establecemos una aproximación parecida a la del ferrocarril para viajeros. Por un lado, suponemos un escenario de electrificación de los ferrocarriles

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.

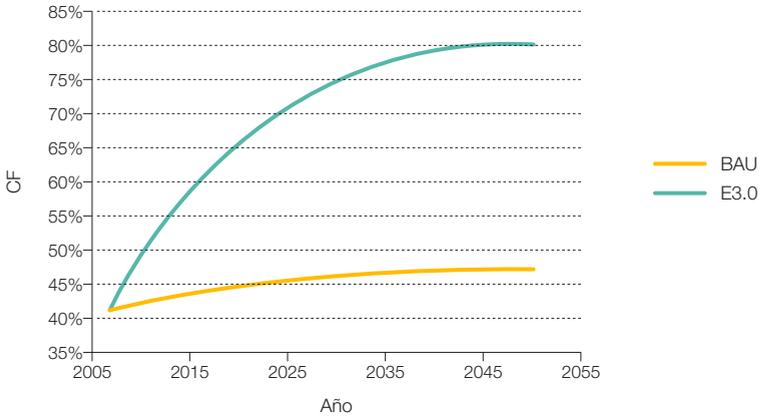


**334** La electrificación tiene un papel importante en esta mejora. Otros componentes son la mejora del aprovechamiento del frenado regenerativo, reducción del peso y otras mejoras técnicas en los ferrocarriles.

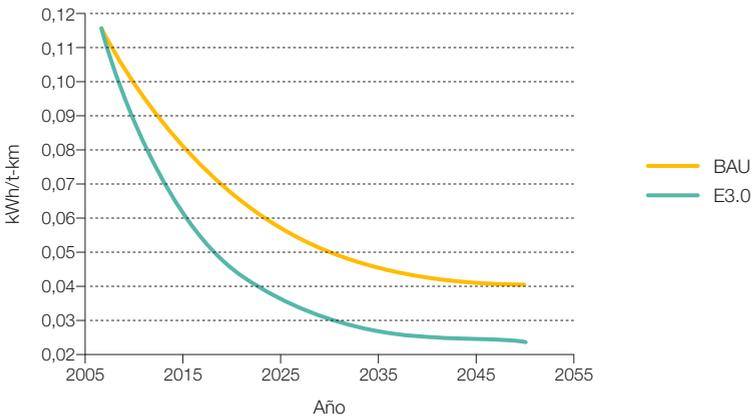
Resulta interesante resaltar que para el transporte de mercancías el ferrocarril sí que resulta más eficiente que la carretera, incluso bajo en contexto E3.0, en contra de lo que sucedía para el transporte de viajeros. La causa de esta diferencia es la menor electrificación que hemos asumido para el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

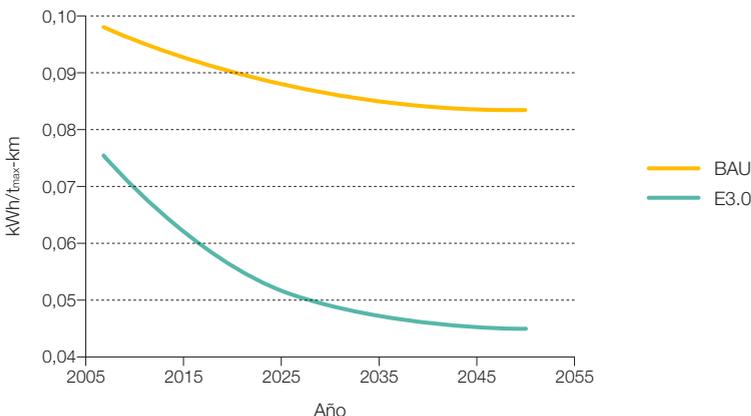
Planteamos un escenario BAU con una mejora gradual del consumo específico a plena carga, asociado tanto a mejoras técnicas de

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.

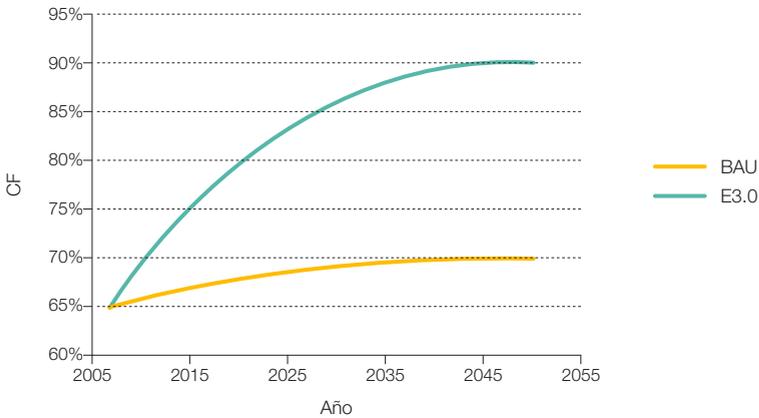


**335** Dado el pequeño alcance de este desplazamiento hacia mayores tamaños, así como a las reducciones de demanda de movilidad en el contexto E3.0, no cabe esperar que se requiriera una modificación de la infraestructura portuaria.

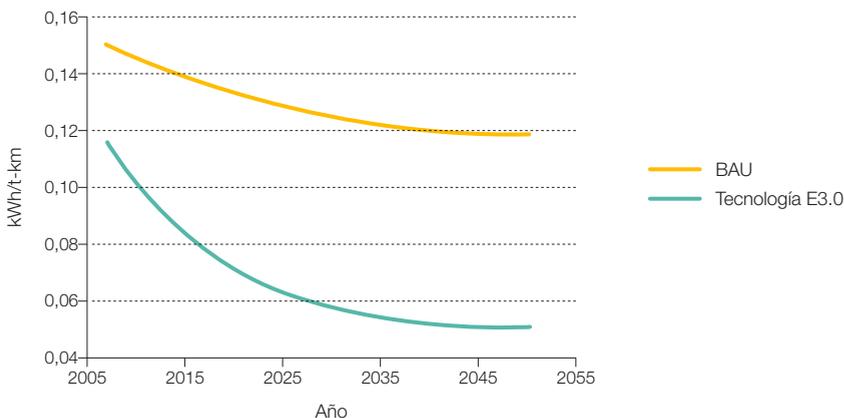
(olas y eólica), que permitieran electrificar el transporte marítimo internacional, aligerando por tanto los requerimientos de un recurso escaso como es la biomasa, o de las ineficiencias de la introducción del hidrógeno como vector energético.

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

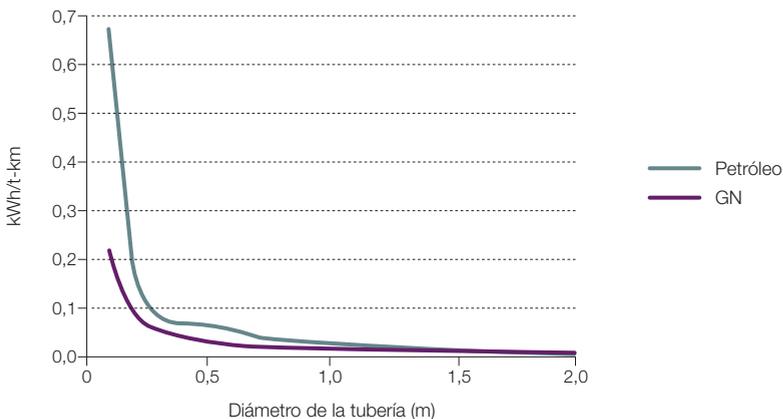
en el valor de la velocidad a la que se está transportando la mercancía en este caso, 5,4 km/h, un valor muy bajo respecto a lo que pueden ofrecer otros modos de transporte con consumos específicos comparables.

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.

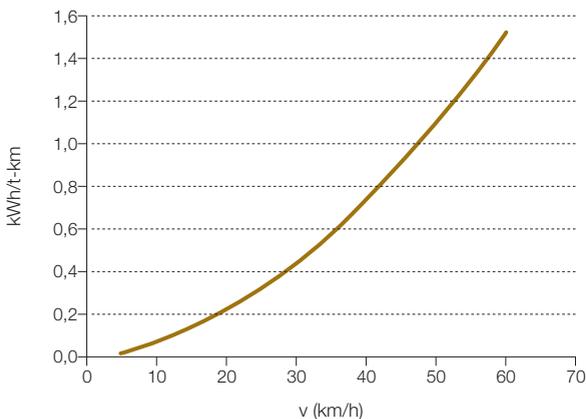
En estas condiciones, establecemos un único escenario del transporte por tubería para los contextos BAU y E3.0.

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

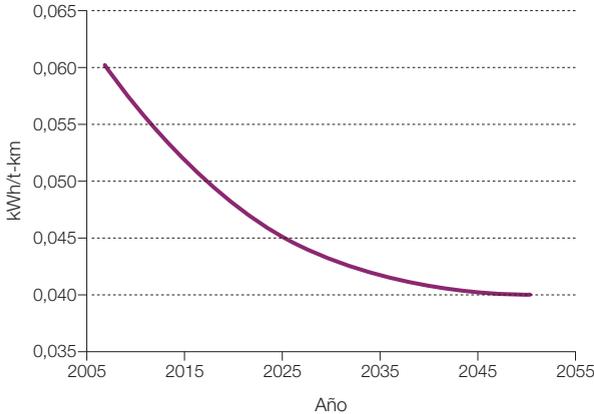
- Reducción de la rugosidad en las tuberías (materiales).
- Aumento del diámetro de las tuberías.
- Mejora en el rendimiento del bombeo.
- Reducción de la velocidad de circulación.
- Reparto del líquido y el gas.

**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).

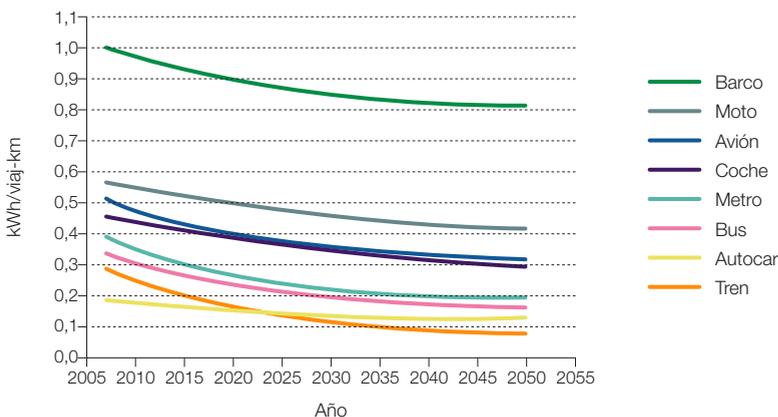
La figura 168 nos muestra el panorama de evolución de los consumos específicos de la tecnología-E3.0. Además de unas mayores tasas de reducción del consumo específico al avanzar a lo largo del escenario, podemos observar otro importante cambio cualitativo: el consumo específico de lo que en el contexto 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.

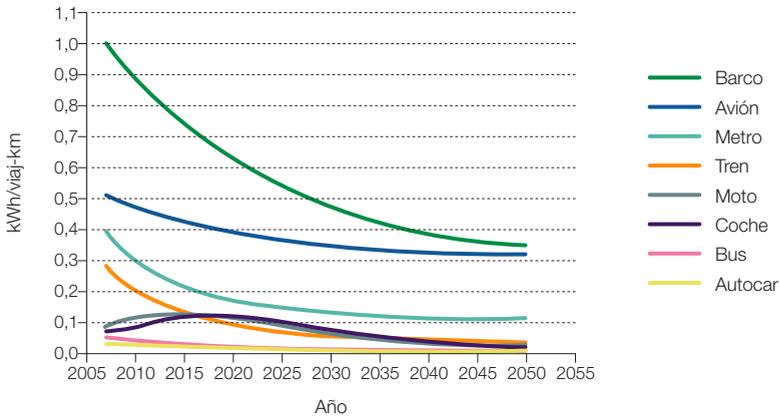
**Figura 167.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de viajeros en el contexto BAU.



**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

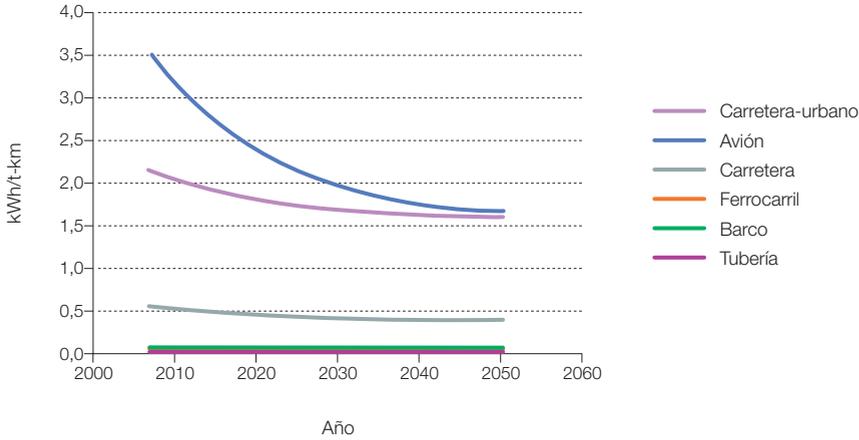
En este punto recopilamos los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad de los distintos modos para el transporte de mercancías, para los contextos BAU y E3.0, con el fin de adquirir una perspectiva de conjunto.

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

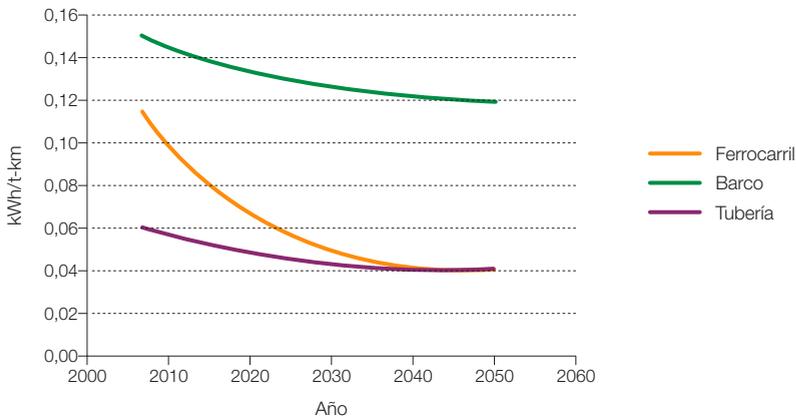
que se deba cubrir con combustibles, representan una auténtica lacra para el modo transporte en el contexto BAU. El modo ferrocarril es en el contexto BAU el de mayor eficiencia, pero a falta de introducción de inteligencia, su participación modal se ve limitada a valores muy bajos.

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).

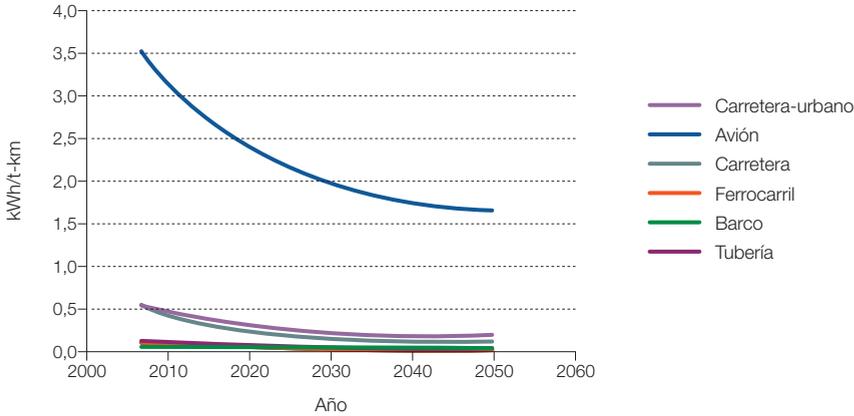
**Figura 169.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de mercancías en el contexto BAU.



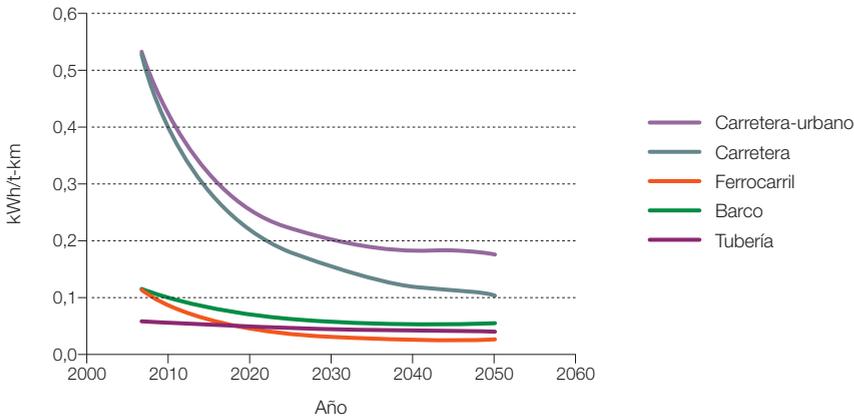
**Figura 170.** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los modos de transporte de mercancías en el contexto BAU, excluyendo los modos dominantes de carretera y avión.



**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:

- La demanda energética aquí presentada procede de un análisis de abajo arriba, que parte de la estimación de la demanda de servicios (movilidad), y de la estimación de las prestaciones de las distintas tecnologías de transporte. La ventaja de este planteamiento es que permite establecer un modelo que relaciona de forma directa y causal la demanda del servicio y sus implicaciones energéticas, y proporciona información detallada sobre la estructura de la demanda energética, además de otorgar las herramientas para establecer una proyección de esta demanda en base, tanto a la evolución de la demanda de servicios, como la de las tecnologías empleadas para cubrirlas. Sin embargo, dada la falta de precisión y consistencia de las evaluaciones históricas de demanda de movilidad, y de consumos específicos de las tecnologías empleadas para cubrirla, que se han empleado para elaborar los escenarios, el resultado de este análisis no reproduce adecuadamente el consumo energético del sector edificación en el inicio del escenario, y requiere, por tanto, un calibrado inicial que se abordará en un apartado posterior. Sin embargo, a medida que avanza el periodo del escenario considerado, la incertidumbre del inicio del escenario que requirió ese calibrado inicial se va diluyendo, y queda la capacidad del modelo elaborado para establecer una relación causal directa, entre la demanda del servicio de movilidad y sus implicaciones energéticas para las tecnologías empleadas en la cobertura de la demanda de movilidad.
- Los escenarios recogidos en este punto corresponden a las trayectorias BAU y de tecnología E3.0. La transición desde la trayectoria BAU a la que nos ofrece la tecnología E3.0 puede seguir distintos caminos, y depende fundamentalmente de la velocidad a la que consigamos activar el proceso de

cambio a los inicios del periodo de tiempo considerado. En un apartado posterior analizaremos distintos escenarios de transición con sus implicaciones asociadas.

Recogemos, por tanto, a continuación la estructura de los escenarios de demanda energética tanto en contexto BAU como para la tecnología E3.0 que se desprenden del modelo elaborado, sin correcciones por calibrado inicial y sin introducción de escenarios de transición.

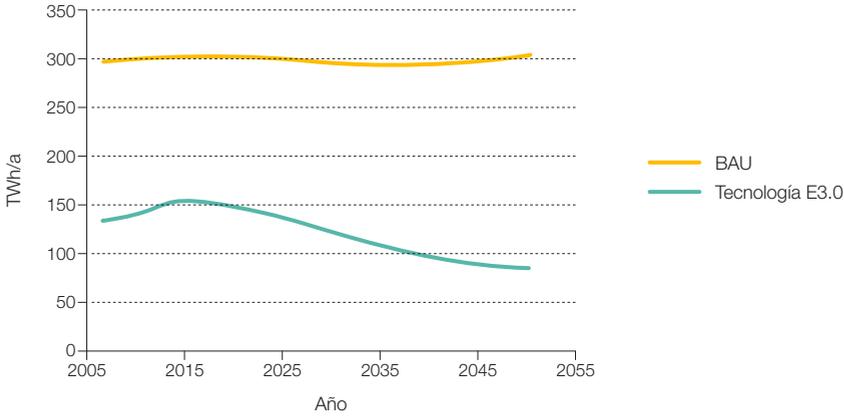
#### 3.6.4.1 Movilidad de pasajeros

En la figura 173 presentamos los escenarios resultantes de demanda de energía para cubrir la demanda total de movilidad de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0 según los inputs de demanda de movilidad y consumos específicos en el modelo del sector transporte. Como podemos ver, al final del escenario la demanda de energía de la tecnología E3.0 es del orden de un tercio de la BAU. En el caso del contexto BAU, la demanda de energía resulta aproximadamente constante<sup>338</sup> a lo largo del periodo considerado, y contrasta el incremento de demanda de movilidad con la creciente eficiencia planteada<sup>339</sup> para los distintos modos de transporte. En las figuras 174 y 175 mostramos estos escenarios desagregados en sus componentes urbana e interurbana.

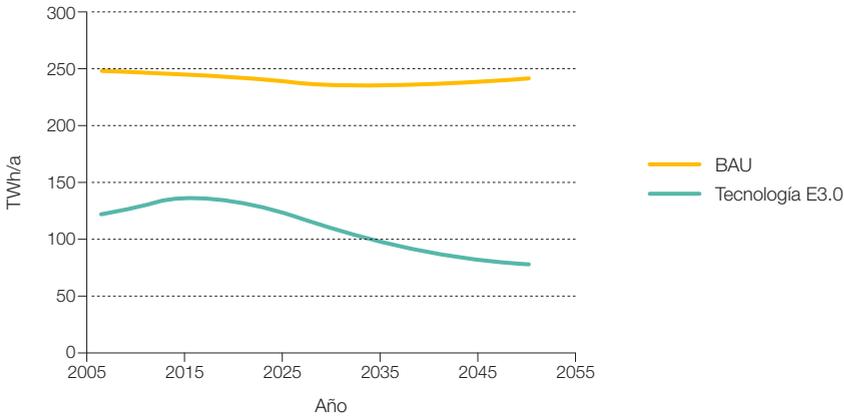
<sup>338</sup> Como veremos más adelante.

<sup>339</sup> Como ya comentamos anteriormente, se trata de escenarios BAU bastante más progresistas que los habitualmente planteados, que si bien no llegan a evolucionar hacia la contracción, por lo menos sí hacia la contención de la demanda.

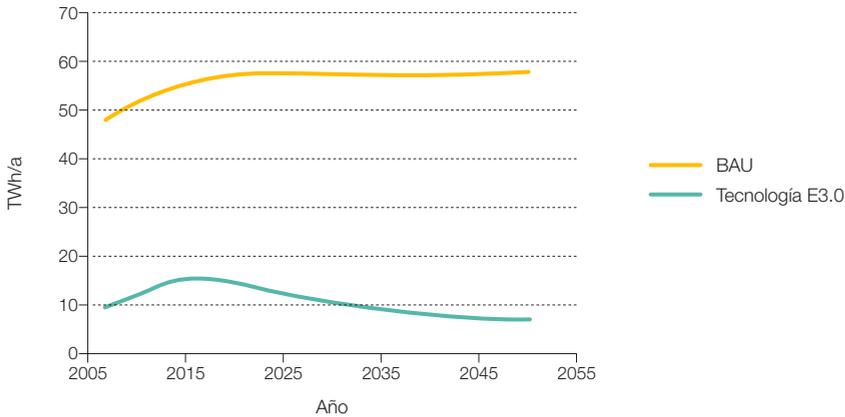
**Figura 173.** Escenarios de demanda total de energía final para cubrir las demandas de movilidad total de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 174.** Escenarios de demanda total de energía final para cubrir las demandas de movilidad interurbana de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 175.** Escenarios de demanda total de energía final para cubrir las demandas de movilidad urbana de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



Otro análisis relevante es la desagregación de la demanda de energía entre aquella que se demanda en forma de electricidad y la que es en forma de un combustible. Esta diferenciación es relevante por diversos motivos:

- La demanda eléctrica, si se da por sentado que el sistema eléctrico evolucionará hacia niveles crecientes de participación de las energías renovables tanto en el contexto BAU como en el E3.0 (aunque a distintas velocidades), va a poder acceder al grueso de recursos renovables en nuestro país.
- La demanda de combustible, en el contexto BAU, va a estar en las primeras décadas del escenario asociada al consumo de combustibles fósiles, y por tanto, directamente relacionada con las emisiones de GEI, con la dependencia energética, y con el galopante coste energético. Una vez que los costes de los combustibles fósiles se hagan prohibitivos con motivo de la gran demanda a nivel mundial y la limitación de recursos, esta demanda tendrá que abastecerse en

el contexto BAU con el uso de la biomasa, y dada la limitación de recursos en nuestro país, nos conducirá a la necesidad de importar este recurso (es decir, una vez más a la dependencia energética).

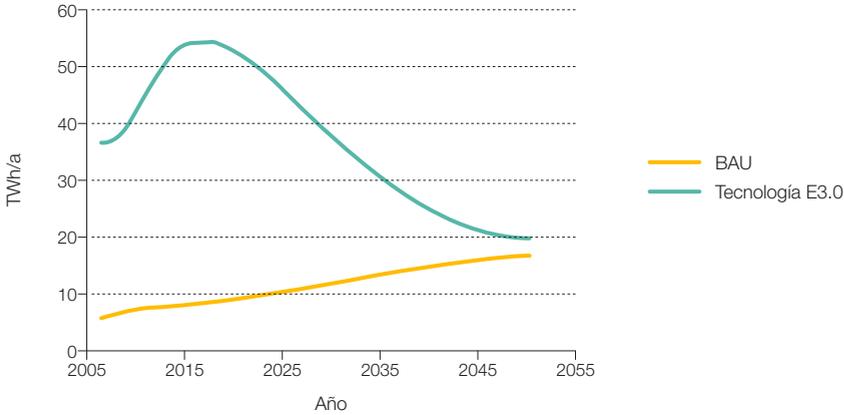
- Incluso en el contexto E3.0, la demanda de combustible habrá que compararla con el recurso disponible de biomasa, y analizar la necesidad de recurrir al vector hidrógeno con la consiguiente penalización en la eficiencia del sistema energético.

La figura 176 nos muestra la demanda de electricidad para cubrir la demanda de movilidad de viajeros. Como vemos, la tecnología E3.0, con su decidido impulso a la electrificación del transporte, demanda más electricidad, especialmente al inicio del escenario, con un pico entrono al año 2018 debido al incremento de demanda de prestaciones de los vehículos eléctricos al principio de su introducción. Este pico de demanda eléctrica puede ser relevante de cara a la planificación del sistema eléctrico. Hacia el final del escenario, las

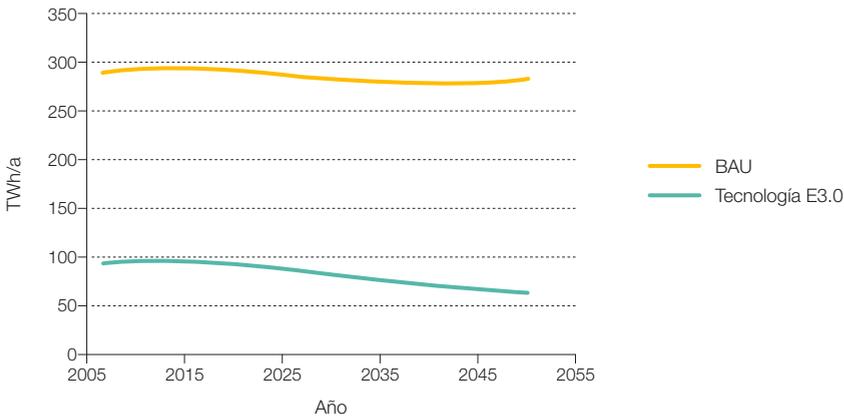
medidas de eficiencia incorporadas en el contexto E3.0 permiten que con una demanda eléctrica del mismo orden de magnitud que la del contexto BAU se alcance una cobertura eléctrica de la demanda de movilidad muy superior.

La figura 177 presenta los escenarios de evolución de la demanda energética en forma de combustible para cubrir la demanda de movilidad de viajeros. Como podemos ver, en el contexto BAU esta demanda es relativamente constante<sup>340</sup> a lo largo de todo el escenario y

**Figura 176.** Escenarios de demanda de energía eléctrica para cubrir las demandas de movilidad de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 177.** Escenarios de demanda de energía en forma de combustible para cubrir las demandas de movilidad de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**340** Como veremos más adelante en el proceso de calibrado, la demanda al principio del periodo analizado es menor, y se obtiene por tanto un escenario BAU con demanda creciente.

del orden de 283 TWh/a en 2050, un valor que ya alcanza los límites<sup>341</sup> del recurso de biomasa en la España peninsular.

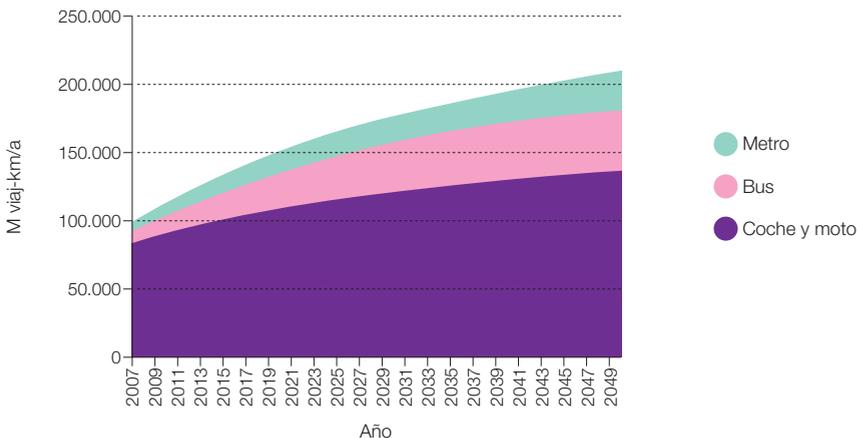
A continuación presentamos la estructura modal de la demanda energética asociada a la cobertura de demanda de movilidad de viajeros, obtenida según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte. Empezamos por presentar la estructura modal de la demanda de movilidad de viajeros absoluta. Las figuras 178 a 181 nos muestran la descomposición modal de la movilidad absoluta de viajeros, urbana e inurbana, para los contextos BAU y E3.0.

Por lo que respecta a la movilidad urbana, tanto en los contextos BAU como E3.0 vemos que es creciente a lo largo de todo el periodo considerado (aunque con tasas decrecientes), sin embargo, así como en el contexto BAU el modo dominante es el coche, que además opera basándose en combustible, en el contexto E3.0 se consigue desplazar hacia el autobús el peso dominante al final del escenario.

Pero es más, en el contexto E3.0, coches, motos y autobuses constituyen elementos integrantes de un mismo STI que ajusta el tamaño del vehículo a las características de la demanda de movilidad, y son todos ellos vehículos eléctricos.

Por lo que respecta a la demanda interurbana de movilidad de viajeros, también encontramos una tendencia creciente a lo largo de todo el escenario (aunque con tasas de crecimiento decrecientes). El contexto BAU se encuentra caracterizado por una participación creciente del modo aéreo, que acaba siendo el dominante, con el modo carretera en segundo lugar que cubre una cantidad aproximadamente constante de la demanda de movilidad total. En el contexto E3.0 el modo dominante es la carretera, creciente a lo largo del escenario, que junto al crecimiento del modo ferrocarril consiguen ir atenuando la parte de la demanda de movilidad cubierta por el modo aéreo. Con todo, el modo aéreo sigue siendo el segundo en importancia en el contexto E3.0.

**Figura 178.** Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta urbana de viajeros para el contexto BAU.

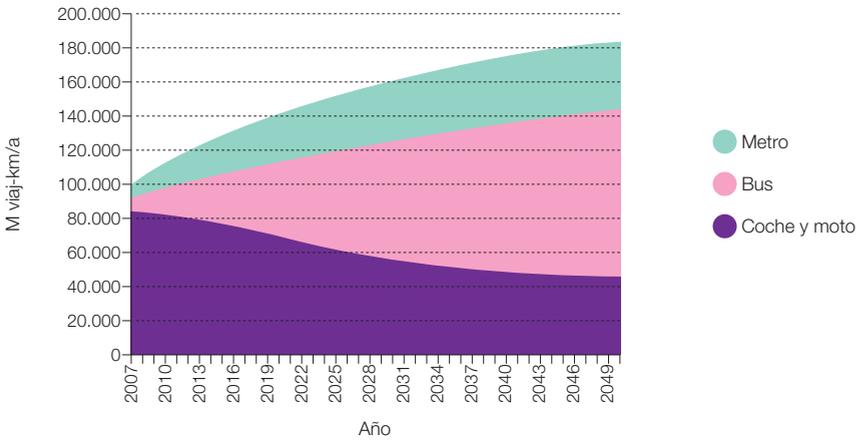


**341** En efecto, esta cantidad es superior al recurso total de la biomasa de origen de cultivos energéticos, cultivos forestales rápidos y aprovechamiento del monte bajo, que sin tener en cuenta los rendimientos de conversión a biocombustibles es en la España peninsular de 273 TWh/a. El recurso total de biomasa asciende a 426 TWh/a, lo cual implicaría que con un rendimiento total del 67% para la producción de biocombustibles (valor del orden del requerido para producir biodiesel, pero en el caso de bioetanol puede incluso ser inferior), requeriríamos ya emplear solo para la cobertura de la demanda de movilidad de viajeros el total del recurso disponible de biomasa en nuestro país, lo cual implicaría dedicar un 21,5% de la superficie del país a este abastecimiento energético.

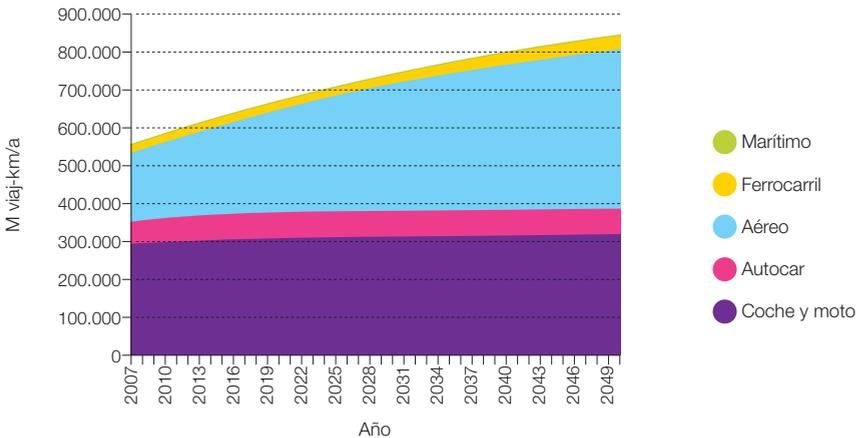
A continuación, en las figuras 182y 183 presentamos la descomposición modal de la demanda energética asociada a la demanda de movilidad de viajeros, tanto para el contexto BAU como E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

En el contexto BAU vemos cómo la demanda de energía está dominada por los modos coche y avión, con el avión que incrementa el consumo energético a lo largo del tiempo y el coche lo reduce, para llegar al final del escenario con valores del mismo orden.

**Figura 179.** Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta urbana de viajeros para el contexto E3.0 (coche, moto y autobús son eléctricos).



**Figura 180.** Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta interurbana de viajeros para el contexto BAU.

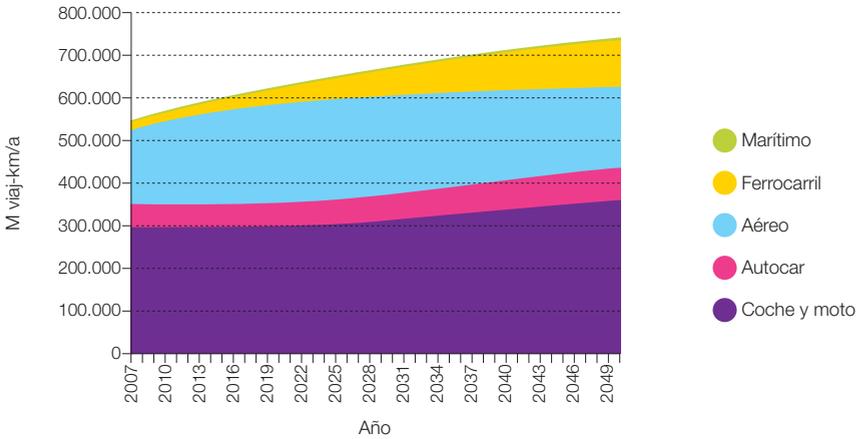


En el contexto E3.0, la demanda energética está claramente dominada por el modo aéreo, y a pesar de la contracción que se consigue en este modo, al final del escenario el dominio energético del modo aéreo es absoluto. Esta es una indicación más de hasta qué punto el transporte aéreo de viajeros se

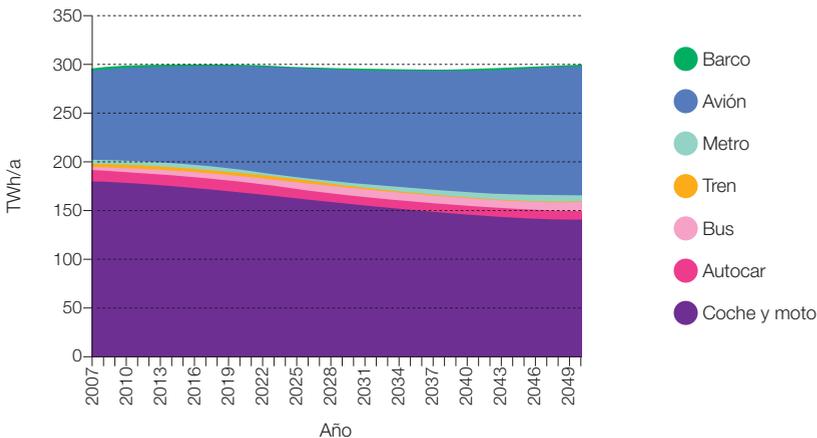
convierte en el aspecto más crítico de un contexto E3.0. Por último, resulta interesante analizar el consumo específico agregado del sector transporte para la cobertura del conjunto de la movilidad de viajeros.

La figura 184 nos presenta esta información.

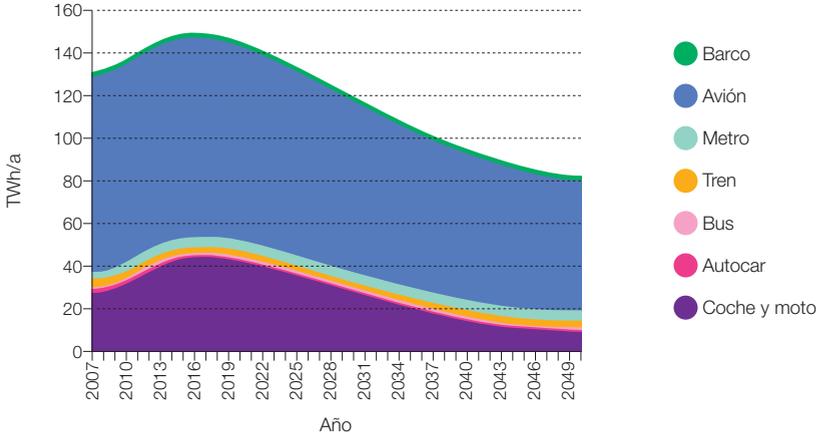
**Figura 181.** Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta interurbana de viajeros para el contexto E3.0 (coche, moto y autocar son eléctricos).



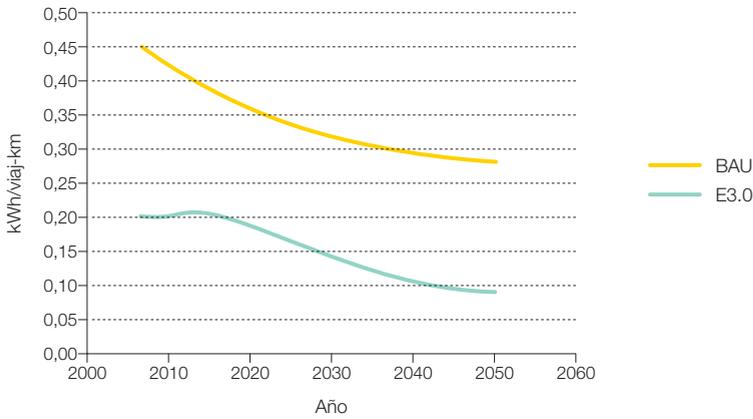
**Figura 182.** Estructura modal de la demanda de energía final asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de viajeros en el contexto BAU.



**Figura 183.** Estructura modal de la demanda de energía asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de viajeros en el contexto E3.0.



**Figura 184.** Evolución del consumo específico agregado del sector transporte para la cobertura del total de la demanda de movilidad de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0.

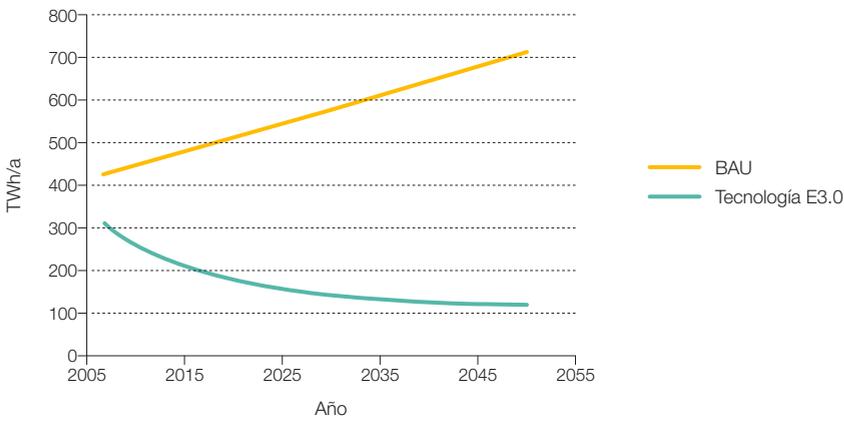


### 3.6.4.2 Movilidad de mercancías

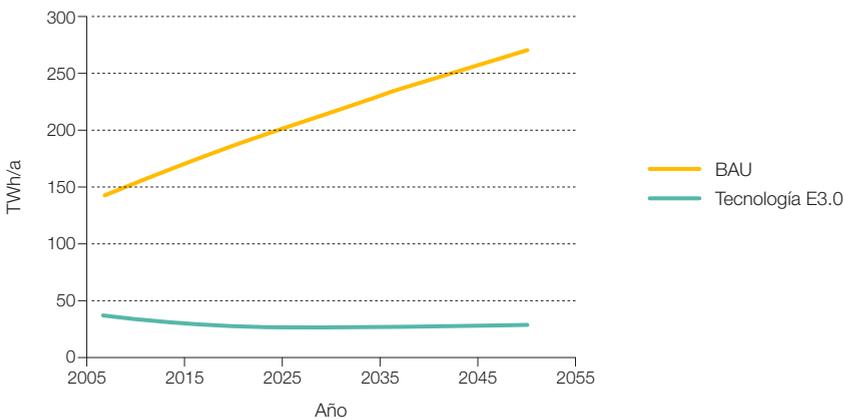
En la figura 185 podemos encontrar los escenarios resultantes de demanda de energía asociada a la cobertura de la demanda de

movilidad de mercancías, para los contextos BAU y tecnología E3.0. Las figuras 186 y 187 muestran la desagregación en demanda de energía para movilidad de mercancías urbana e interurbana.

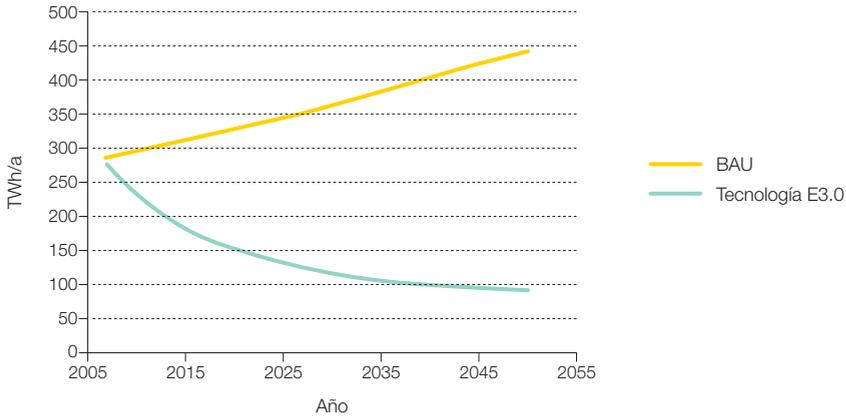
**Figura 185.** Escenarios de demanda energética final asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



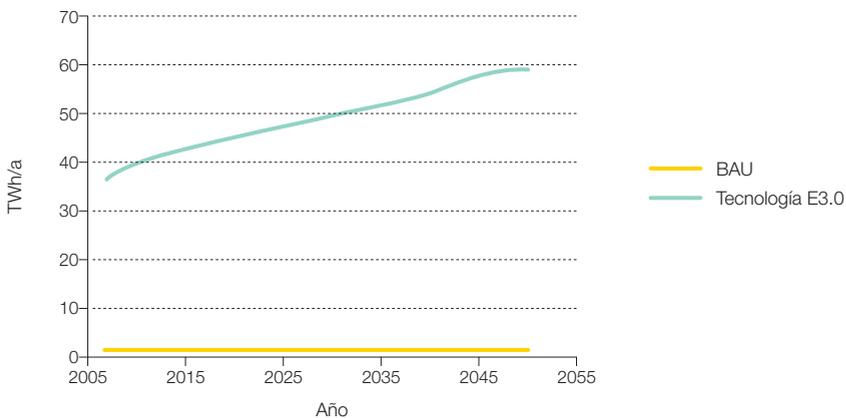
**Figura 186.** Escenarios de demanda energética final asociada a la cobertura de la demanda de movilidad urbana de mercancías en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 187.** Escenarios de demanda energética final asociada a la cobertura de la demanda de movilidad interurbana de mercancías en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 188.** Escenarios de demanda de energía eléctrica asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



Como podemos observar, el escenario BAU mantiene tasas crecientes, y aproximadamente constantes, a lo largo de todo el escenario, sin signo alguno de contracción. Por el contrario, en el contexto E3.0 se mantiene una contracción en la demanda de energía tendiente a la estabilización al final del escenario.

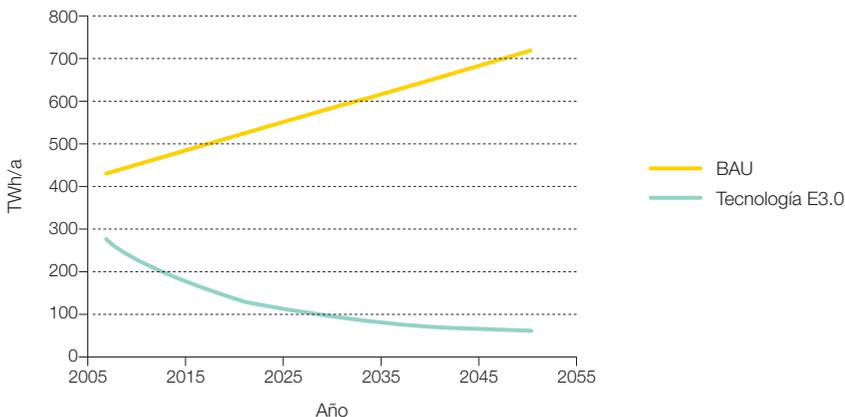
En las figuras 188 y 189 presentamos la desagregación de esta demanda de energía en términos de energía eléctrica y combustible. Como podemos ver, en el contexto BAU, la demanda de energía en forma de combustible para cubrir la demanda de movilidad de mercancías llega a superar al final del escenario los 713 TWh/a, una cantidad muy superior al recurso total de biomasa disponible<sup>342</sup>, lo cual constituye una clara indicación de la insostenibilidad del contexto BAU<sup>343</sup>. En el caso del contexto E3.0, la demanda de energía en forma de combustibles para cubrir la demanda de movilidad de mercancías podría ser cubierta por el recurso de biomasa

disponible, y es la cantidad del potencial disponible que se debería emplear muy elevada al principio del escenario (del orden del 95%), y se reduce a algo del orden del 20% hacia el final del escenario. Estos porcentajes, añadidos a los asociados a la demanda de movilidad de viajeros, son ya muy elevados al tratarse del potencial máximo del recurso<sup>344</sup>, lo cual constituye una clara señal de que debe evitarse el uso del recurso biomasa en otros sectores<sup>345</sup>, que pueden acceder fácilmente a otros recursos renovables para cubrir su demanda energética.

Por lo que respecta a la desagregación por modos de la demanda de energía para cubrir la demanda de movilidad de mercancías, empezamos por recoger la estructura modal de la demanda de movilidad absoluta de mercancías.

La figura 190 nos muestra la demanda de movilidad de mercancías urbana, totalmente cubierta por el modo carretera. Tanto en los

**Figura 189.** Escenarios de demanda de energía en forma de combustible asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**342** Si consideramos un rendimiento total de producción de los biocombustibles del orden del 67% (representativo de la producción de biodiésel), la demanda de combustibles para la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías sería del orden del 250% del potencial total máximo de recurso de biomasa en la España peninsular (para cuya explotación sería preciso emplear el 21,5% de la superficie peninsular).

**343** A pesar de los planteamientos optimistas y progresistas que hemos hecho para elaborar los escenarios BAU.

**344** Que va asociado al 21,5% de área del territorio peninsular.

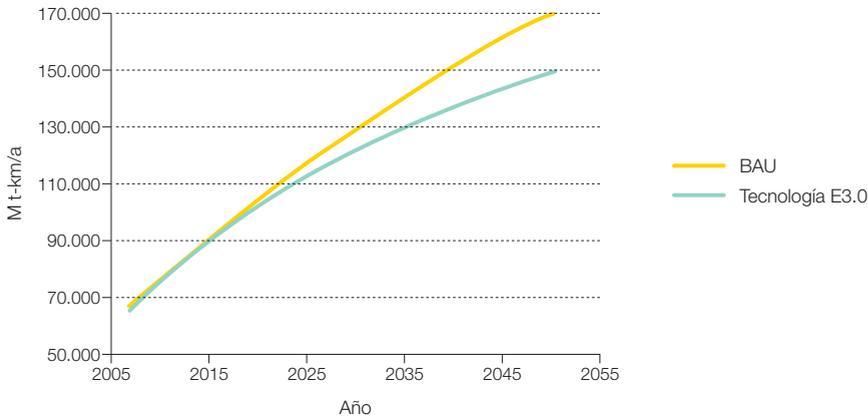
**345** El sector edificación es un ejemplo típico. Como discutiremos en los capítulos dedicados al sector edificación, a pesar de que el uso de la biomasa por combustión directa es la forma más directa de cubrir la demanda térmica de este sector con renovables, las limitaciones de este recurso recomiendan proceder a la electrificación eficiente del sector edificación para poder acceder al recurso del resto de energías renovables.

contextos BAU como E3.0 se mantienen tasas de crecimiento positiva (aunque decrecientes) a lo largo del escenario, sin alcanzar una saturación.

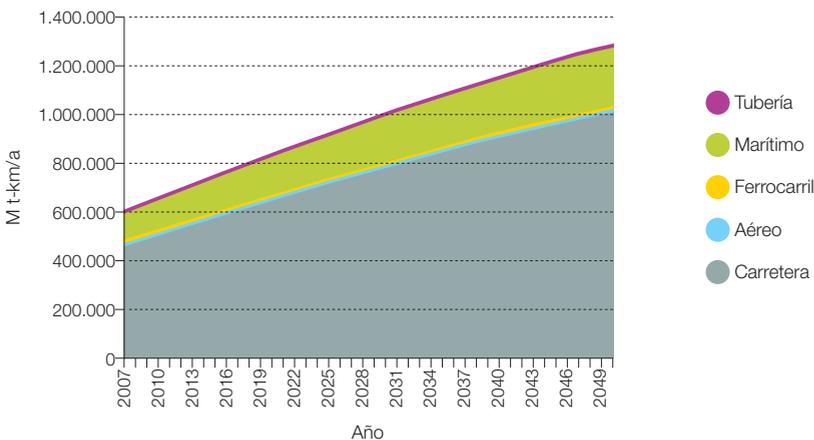
Las figuras 191 y 192 presentan la estructura modal de la demanda de movilidad interurbana

de mercancías para los contextos BAU y E3.0. Como podemos ver, en ambos escenarios esta demanda de movilidad está dominada por el transporte por carretera, si bien, así como en el contexto BAU la atenuación del crecimiento anual de la demanda de movilidad de mercancías por carretera es

**Figura 190.** Escenarios de demanda de movilidad urbana de mercancías en los contextos BAU y E3.0.



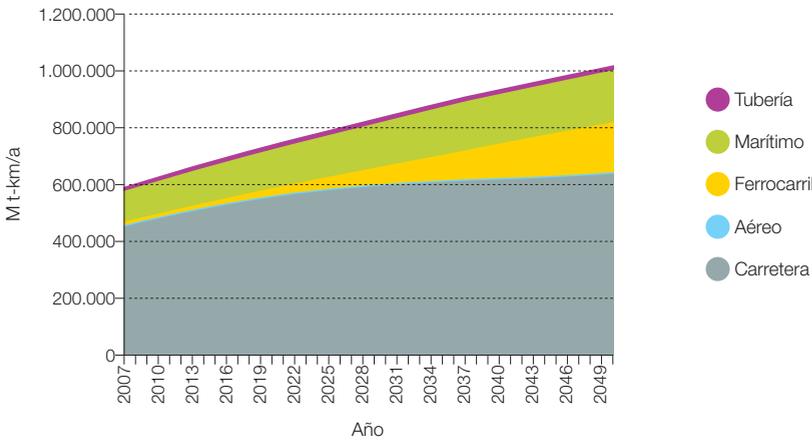
**Figura 191.** Estructura modal del escenario de demanda de movilidad interurbana de mercancías en el contexto BAU.



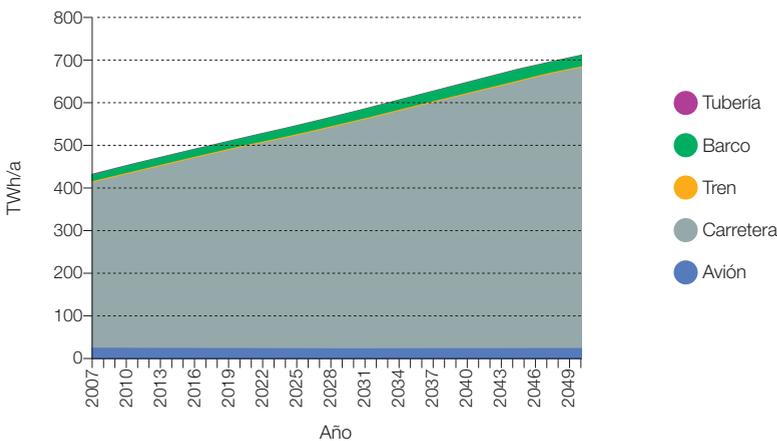
prácticamente inexistente, en el contexto E3.0 se consigue estabilizar hacia el final del escenario la demanda de movilidad por este modo de transporte.

Por último, las figuras 193 y 194 recogen la estructura modal de la demanda de energía asociada a la cobertura de demanda de movilidad de mercancías en los contextos BAU y

**Figura 192.** Estructura modal del escenario de demanda de movilidad interurbana de mercancías en el contexto E3.0.



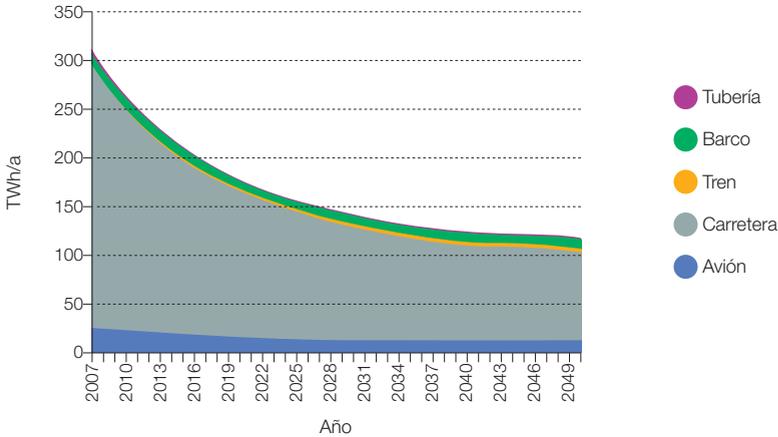
**Figura 193.** Estructura modal de la demanda de energía final para la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en el contexto BAU, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



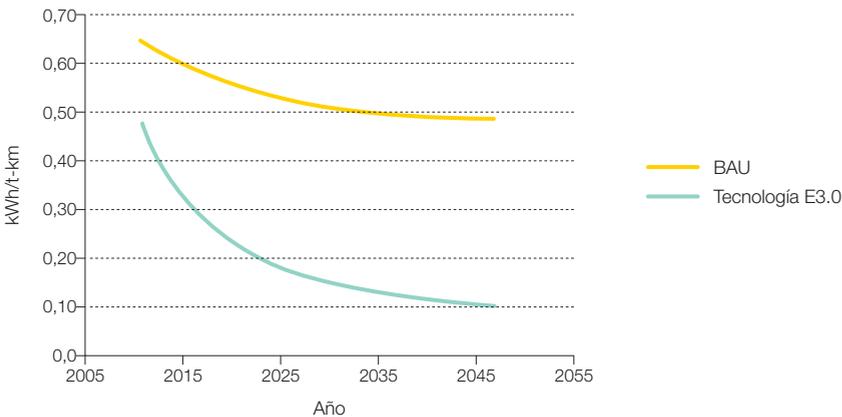
E3.0. En ambos casos, el modo carretera es el dominante en dicha demanda de energía, pero así como en el contexto BAU el modo carretera no muestra signo alguno de contracción en lo que respecta a la demanda de energía, en el contexto E3.0 si que se obtiene

una importante contracción de la demanda de energía de este modo, que es la principal responsable de la contracción total en la demanda de energía para movilidad de mercancías, y todo ello a pesar de la limitada contracción de la demanda de movilidad.

**Figura 194.** Estructura modal de la demanda de energía para la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en el contexto E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 195.** Consumo específico agregado del sector transporte para la cobertura de la demanda de movilidad total de mercancías, en los contextos BAU y tecnología E3.0.



Por último, la figura 195 recoge la evolución del consumo específico agregado del sector transporte para la cobertura de la demanda de movilidad total de mercancías, en el contexto BAU y E3.0.

### 3.6.4.3 Movilidad total

En este punto recopilamos los escenarios totales de demanda de energía para el sector transporte (movilidad de viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0.

La figura 196 nos presenta los escenarios resultantes de demanda total de energía<sup>346</sup> para el sector transporte. Los puntos de partida de ambos escenarios (727 TWh/a para el BAU y 440 TWh/a) dejan en su interior<sup>347</sup> el valor indicado por (AIE, 2007) de 450 TWh/a. Como podemos observar en estas figuras, el contexto BAU, a pesar de los enfoques optimistas empleados para la elaboración de sus escenarios, conduce a un escenario tendencial con tasas de crecimiento prácticamente constantes a lo largo de todo el periodo analizado, lo que conduce a una demanda de energía final para los últimos años del periodo considerado por encima de los 1000 TWh/a. Esta cantidad de energía es muy elevada, y si tenemos en cuenta que los escenarios BAU para los otros sectores (edificación e industria) pueden conducir a cantidades de este orden, nos indican claramente la insostenibilidad de los planteamientos BAU-optimistas planteados en este estudio. Por tanto una conclusión evidente es que resulta imprescindible trascender los planteamientos BAU y colocarse en la línea de los escenarios E3.0.

En el contexto E3.0, a pesar de asumir demandas de movilidad sin una contracción importante, las medidas de eficiencia, la elección de las tecnologías apropiadas, y la puesta en marcha de mecanismos de organización y

estructuración inteligentes, nos permiten acceder a un escenario de contracción energética continua en todo el periodo considerado, tendiendo hacia la estabilización al final del escenario, en cuyo instante presenta una demanda de energía final que es un 20% de la del escenario BAU. Con todo, seguimos hablando de una demanda del orden de 200 TWh/a que sigue siendo una cantidad importante de energía.

Las figuras 197 y 198 nos muestran la desagregación de esta demanda total de energía del sector transporte entre los ámbitos urbano e interurbano<sup>348</sup>, pudiendo contrastar como es, especialmente en el ámbito interurbano donde el contexto E3.0 permite acceder al escenario global de contracción mantenida.

Las figuras 199 y 200 nos muestran la desagregación entre demanda eléctrica y demanda en forma de combustible. Como podemos observar, el contexto E3.0 domina en cuanto a demanda eléctrica, con un pico inferior en torno al año 2018 que supera los 100 TWh/a (algo superior a la tercera parte de la demanda eléctrica actual sobre el sistema eléctrico), para posteriormente estabilizarse en valores del orden de los 80 TWh/a, todo ello perfectamente dentro de las posibilidades<sup>349</sup> de un sistema eléctrico basado en energías renovables. Pero la conclusión más interesante la obtenemos al observar los escenarios de demanda de energía en forma de combustible, que para el caso BAU nos conducen a una demanda del orden de los 1000 TWh/a hacia el final del escenario y sin ningún signo de estabilización. Una buena "medida" de la insostenibilidad de este contexto BAU la podemos obtener al comparar esta demanda de combustibles con la que tendríamos capacidad de producir en nuestro país basándose en el potencial de biomasa disponible<sup>350</sup>, en cuyo caso nos damos cuenta de que la

**346** Nótese que se trata de energía final y no primaria, en términos de la electricidad y combustibles necesarios para cubrir la demanda de movilidad.

**347** El hecho de que el punto de partida de nuestro escenario BAU sea superior al valor de la AIE para el año 2006 se debe en parte a que nosotros hemos incorporado el 50% de la movilidad exterior. Pero adicionalmente hay una serie de incertidumbres en los datos de entrada del modelo desarrollado que se acotarán en el siguiente apartado dedicado al calibrado.

**348** Recordemos que el ámbito interurbano incluye el 50% de la demanda de movilidad exterior.

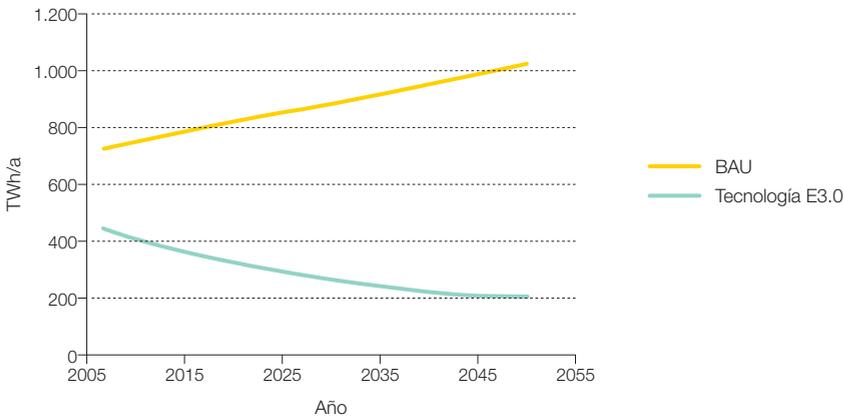
**349** El potencial peninsular de generación eléctrica de origen renovable es de 15800 TWh/a (GP, 2005).

**350** El potencial de biomasa disponible es de 426 TWh/a al incluir todas las formas de biomasa, y de 273 TWh/a si nos limitamos a los cultivos energéticos, los cultivos forestales de rotación rápida y el aprovechamiento del monte bajo. Para explotar este potencial sería necesario emplear el 21,5% de la superficie del territorio peninsular (GP, 2005).

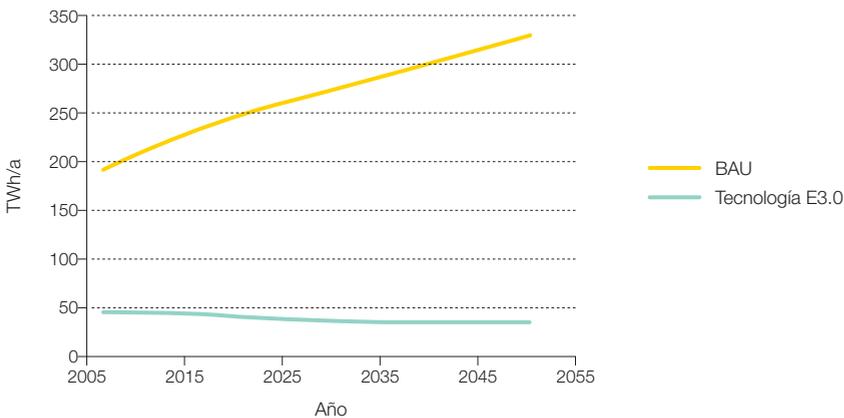
demanda de combustibles en el contexto BAU es del orden del 350% de los biocombustibles<sup>351</sup> que podríamos generar al explotar el máximo potencial de la biomasa en nuestro

país. Para el contexto BAU, la situación es considerablemente más favorable, a pesar de lo cual, al final del escenario<sup>352</sup> todavía requeriríamos explotar más del 42% del máximo

**Figura 196.** Escenarios de demanda de energía para la cobertura del total de la demanda de movilidad (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 197.** Escenarios de demanda de energía para la cobertura del total de la demanda de movilidad urbana (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

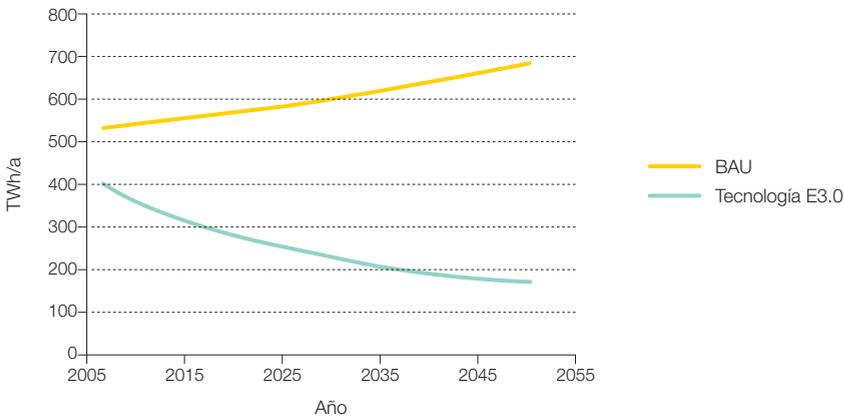


**351** Suponiendo un rendimiento global de producción de los biocombustibles a partir de la biomasa del 67%, representativo de un biodiésel.  
**352** De hecho, durante los primeros años del escenario en el contexto E3.0 todavía nos sería preciso explotar más del 100% de los recursos de biomasa disponible si quisiéramos cubrir esta demanda con biomasa, lo cual nos obligaría a importar biomasa del exterior durante los primeros años. La diferencia fundamental con el caso BAU, es que en el contexto E3.0 esta situación sería transitoria, y nos conduciría a lo largo del desarrollo del escenario hacia unas condiciones más sostenibles.

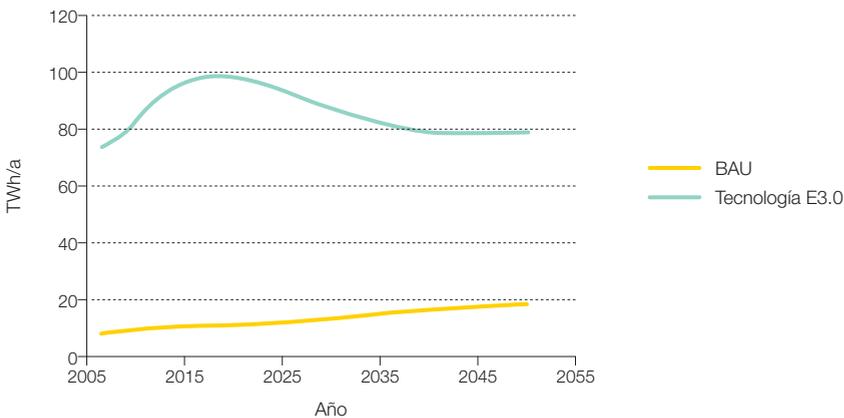
potencial de la biomasa en nuestro país. Incluso este porcentaje, para el contexto E3.0, resulta ya muy elevado tratándose del máximo potencial del recurso, que además requiere

emplear un porcentaje elevado del territorio nacional. Por tanto, podemos concluir que incluso dentro del contexto E3.0 es preciso evitar en la medida de lo posible el uso de la

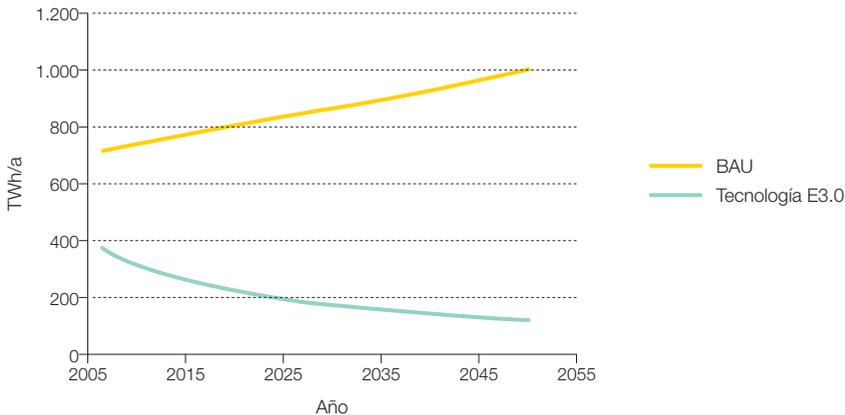
**Figura 198.** Escenarios de demanda de energía para la cobertura del total de la demanda de movilidad interurbana (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 199.** Escenarios de demanda de energía eléctrica para la cobertura del total de la demanda de movilidad (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 200.** Escenarios de demanda de energía en forma de combustible para la cobertura del total de la demanda de movilidad (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



biomasa para cubrir la demanda energética de los otros sectores (edificación e industria), buscando en ellos otras soluciones que permitan acceder al conjunto del potencial de las energías renovables de la forma más eficiente<sup>353</sup>.

En las figuras 201 y 202 presentamos la desagregación modal de los escenarios de demanda energética total (viajeros y mercancías) del sector transporte en los contextos BAU y tecnología E3.0.

Como podemos observar, en ambos contextos la demanda dominante es la debida al transporte por carretera, si bien en el contexto BAU esta predominancia se sigue acentuando al pasar el tiempo, mientras en el contexto E3.0 se consigue contraer significativamente esta demanda de tal forma que hacia el final del escenario, si bien sigue siendo la mayor demanda modal, pero ya es del mismo orden de magnitud que la correspondiente al modo aéreo. En este sentido, la estructura modal de la demanda energética del contexto

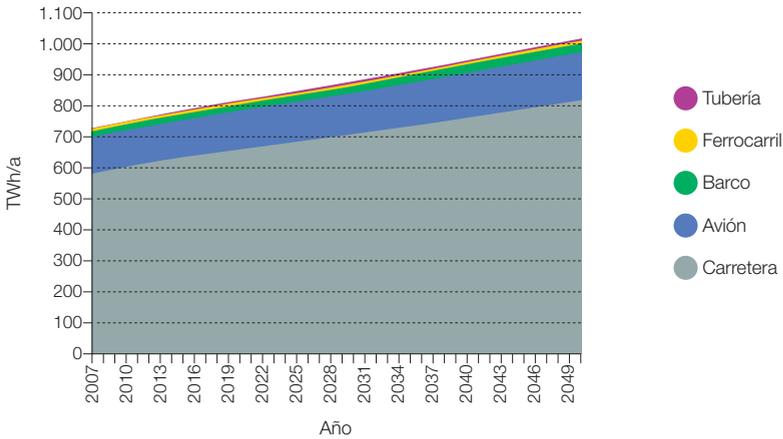
E3.0 al final del escenario considerado, parece mucho más equilibrada que para el caso BAU. Es de resaltar que la gran contracción de la demanda energética del modo carretera, experimentada en el contexto E3.0, es principalmente debida a la transición tecnológica hacia la tracción eléctrica y a la implementación de un STI capaz de incrementar significativamente los CF de los vehículos utilizados, quedando la migración modal en un segundo plano<sup>354</sup>, y con escenario de demanda creciente de movilidad total.

El modo aéreo es el segundo en importancia en términos de demanda energética para ambos contextos. En el contexto BAU la demanda energética de este modo va creciendo a lo largo del tiempo, mientras que en el contexto E3.0 se consigue contraer gradualmente la demanda energética de este modo a lo largo del escenario, si bien su contracción es mucho más limitada que la alcanzada en el modo carretera debido a la rigidez tanto de la demanda de movilidad que cubre, como de la tecnología energética empleada (MCI).

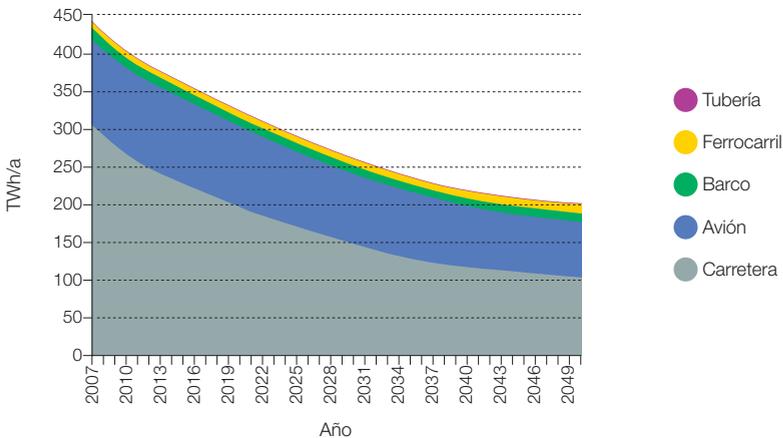
<sup>353</sup> A menudo esto está asociado a la electrificación y la integración del sistema energético. En el sector de la edificación, esta electrificación eficiente va asociada a la implementación de las bombas de calor, pero en el sector de la industria, los niveles de temperatura más elevados pueden obligar a emplear la electrificación directa por efecto Joule de parte de la demanda térmica (que siempre será más eficiente que el uso del hidrógeno como vector intermedio).

<sup>354</sup> De hecho, la migración modal va en dirección contraria a la reducción de demanda de energía del modo carretera para la movilidad de viajeros en el contexto E3.0, si bien por lo que respecta a la movilidad de mercancías sí que se reduce la participación modal de la carretera.

**Figura 201.** Escenarios de desagregación modal de la demanda energética total (viajeros y mercancías) del sector transporte en el contexto BAU, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



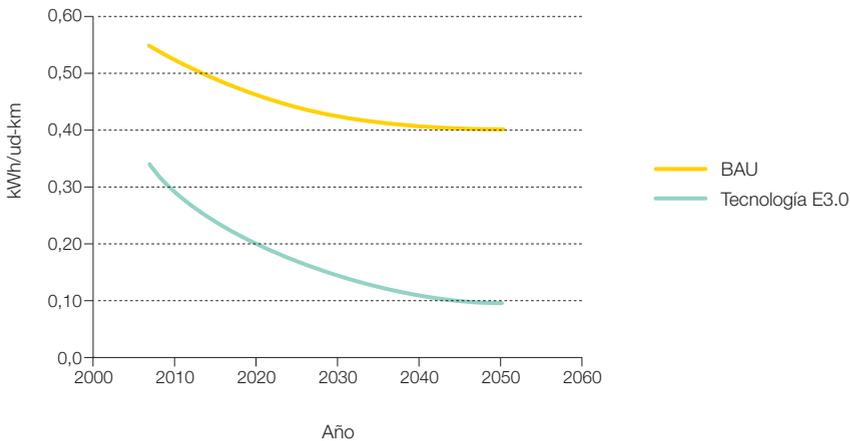
**Figura 202.** Escenarios de desagregación modal de la demanda energética total (viajeros y mercancías) del sector transporte en el contexto E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



El modo marítimo mantiene un tercer lugar ya muy distanciado de los dos modos dominantes desde el punto de vista del consumo energético, que en el caso del contexto E3.0 acaba cediendo ese tercer lugar

al modo ferrocarril hacia el final del escenario. Por último, en la figura 203 reproducimos la evolución del consumo específico agregado del conjunto del sector transporte para la cobertura de toda la demanda de movilidad de

**Figura 203.** Consumo específico agregado del conjunto del sector transporte para la cobertura del total de movilidad de viajeros y mercancías, según los contextos BAU y E3.0.



viajeros y mercancías<sup>355</sup>. Es de destacar que la carencia de datos oficiales desagregados dificulta mucho el proceso de calibrado, y fuerza a emplear datos agregados como el indicador mostrado en esta figura. Como podemos observar, tanto para el contexto BAU como para la tecnología E3.0 el consumo específico agregado se va reduciendo a lo largo del escenario, proporcionado la tecnología E3.0 un potencial de reducción superior al ratio 4:1 de cara al año 2050.

### 3.6.5 Calibrado del modelo de demanda de energía en el sector transporte

En este punto vamos a presentar un ejercicio de calibrado del modelo energético del sector transporte que hemos desarrollado, con el fin de proyectar la estructura de consumos energéticos de este sector hacia el año 2050 en dos contextos tecnológicamente muy distintos: BAU y E3.0.

En primer lugar conviene recalcar las ventajas de un modelo energético del sector transporte estructurado de abajo a arriba, que parte de la demanda de servicios de movilidad y de las características de las tecnologías para cubrir las, y permite evaluar la correspondiente demanda energética. A diferencia de los modelos macro que correlacionan dicha demanda de energía con indicadores globales tipo PIB, la aproximación de abajo arriba es capaz de reflejar con fidelidad el efecto de modificaciones estructurales como las que tanteamos en este estudio, tanto en el campo de la tecnología como en el de la inteligencia.

El objetivo final del modelo que hemos desarrollado era generar predicciones de la demanda de energía en ambos contextos para el año 2050, y es poco relevante desde el punto de vista de este estudio la evolución desde el instante de partida hasta 2050. Sin embargo, resulta interesante analizar los efectos del proceso de transición (siguiente apartado), así como los resultados correspondientes al

<sup>355</sup> En este caso agregado, la movilidad la medimos como M ud-km/a, y son las unidades la suma de los viajeros y las toneladas: ud = viaj + t.

instante de partida<sup>356</sup> en relación a la información oficial disponible.

El modelo energético desarrollado parte de la caracterización de dos variables independientes principales: demanda de movilidad y consumos específicos de las distintas tecnologías consideradas. Y de acuerdo con ellas genera un resultado principal: consumo de energía final del sector transporte.

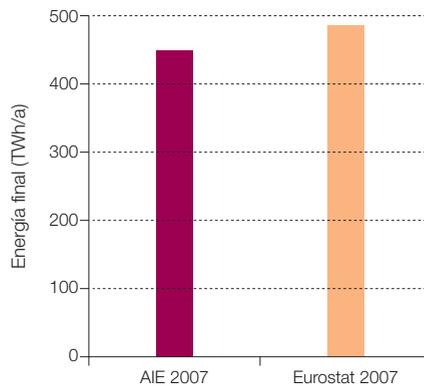
Ante cualquier modelo matemático que trata de reproducir los efectos de una variable dependiente (consumo de energía final) a partir de una serie de variables independientes (movilidad y consumos específicos), resulta conveniente proceder al calibrado de los resultados del modelo con datos “reales” disponibles con el fin de poder ajustar el error que se haya podido propagar en el modelo como consecuencia de las incertidumbres asociadas a los datos de partida. En el caso de que los datos “reales” también contengan una incertidumbre importante, el propio proceso de calibrado puede permitir extraer algunas conclusiones sobre esos datos “reales”.

La dificultad para proceder a un calibrado del modelo de consumo energético en el sector transporte es la gran escasez de datos oficiales, que son los que podríamos considerar como “reales” en este caso, y de su elevada incertidumbre.

Por lo que respecta al resultado principal del modelo, el consumo de energía, las fuentes de datos oficiales con las que contamos son los datos estadísticos publicados por la AIE y Eurostat, datos que estos organismos internacionales recopilan de las administraciones nacionales, que son en última instancia las responsables de su elaboración. Este dato se proporciona de forma muy agre-

gada<sup>357</sup>, y sin que exista una transparencia sobre los métodos empleados para configurarlo y por tanto de su alcance real. Por si esto fuera poco, los datos proporcionados por AIE y Eurostat no coinciden tal y como podemos observar en la figura 204. Es decir: la caracterización energética de la situación “real” del sector transporte dista de ser completa y contiene incertidumbres importantes.

**Figura 204.** Consumo de energía final del sector transporte durante el año 2007 según datos de AIE y de Eurostat.



A priori cabe esperar que el error contenido en la caracterización de la situación “real” del sector transporte sea, por defecto, infravalorando su impacto energético real, debido a que el principal origen de este error estará asociado a componentes del consumo energético sectorial que no hayan sido recogidos, o que hayan sido insuficientemente caracterizados en la metodología seguida para elaborar ese indicador de consumo total agregado. A este respecto resulta relevante recalcar el gran error detectado en la recopilación de información de demanda de movilidad<sup>358</sup> por parte de Eurostat. En esta, para el modo dominante de movilidad de mercancías

**356** El instante de partida donde arranca el desarrollo del modelo energético es el correspondiente al último año con datos oficiales, es decir, el fin de las series históricas en las que se basa el desarrollo del modelo, que en nuestro caso es el año 2007, por ser éste el último año en el que se disponía de información oficial de todos los datos necesarios cuando se procedió al desarrollo del modelo.

**357** Consumo total del sector transporte, sin separar orígenes de demanda de movilidad (viajeros, mercancías).

**358** Cuyo origen es el mismo para la caracterización energética: la administración nacional.

(carretera) figura una demanda de movilidad que es del orden de un 62% de la que se desprende del procesado<sup>359</sup> de los datos de los anuarios del Ministerio de Fomento, como consecuencia de un alcance parcial de las fuentes de demanda de movilidad reflejado en los indicadores procesados que se hacen llegar a Eurostat. En este sentido también resulta interesante recalcar la ausencia de caracterización de la demanda de movilidad de algunos modos relevantes en los datos recopilados por Eurostat.

Sin embargo, a pesar de toda esta incertidumbre en los valores oficiales que caracterizan al sector transporte, nos ha parecido interesante desarrollar el proceso de calibrado.

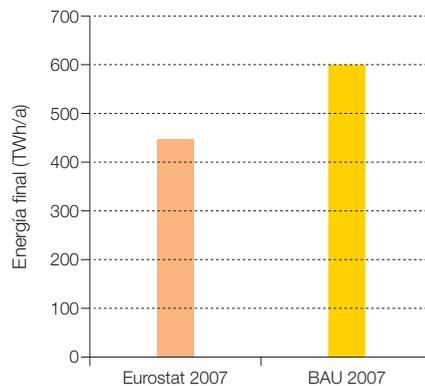
El primer punto a tener presente, para interpretar estos resultados de calibrado, es que el modelo energético que nosotros hemos desarrollado incluye un 50% del consumo energético debido a movilidad exterior. Puesto que este componente todavía está mucho menos caracterizado que el del consumo debido a la movilidad interior, lo hemos dejado fuera del proceso de calibrado. Por tanto, el punto elegido para el calibrado es el año 2007, y su alcance el del consumo energético para cubrir la demanda de movilidad interior. Por otro lado, puesto que el modelo está desarrollado para la España peninsular y los datos oficiales supuestamente corresponden al conjunto de España, hemos adaptado los resultados "oficiales" proporcionalmente<sup>360</sup> a la población para extrapolarlos a la España peninsular.

Como datos oficiales en los que basar el proceso de calibrado hemos elegido como dato principal el consumo total de energía final proporcionado por Eurostat, y como dato adicional, necesario para completar el proceso de calibrado con la información

disponible, hemos elegido el consumo específico agregado del conjunto del sector transporte que se deduce de los datos presentados en relación al escenario de referencia de la E4 (MINECO, IDAE, 2003)<sup>361</sup>. En las figuras 205 y 206 comparamos los resultados proporcionados por el modelo energético del sector transporte y los "oficiales" que vamos a emplear para su calibrado. Como podemos ver, el consumo de energía final obtenido con el modelo para el año 2007 es superior al reflejado por la referencia "oficial", lo cual, asumiendo temporalmente para el proceso de calibrado que la referencia oficial refleja el valor real de dicho consumo, podría ser debido a dos causas:

- Menor demanda de movilidad que la empleada como dato de entrada en el modelo.
- Menor consumo específico de las tecnologías empleadas para cubrir la demanda de movilidad respecto a las introducidas en el modelo.

**Figura 205.** Comparación de los resultados del modelo y la referencia "oficial" empleada para el calibrado: energía final total.



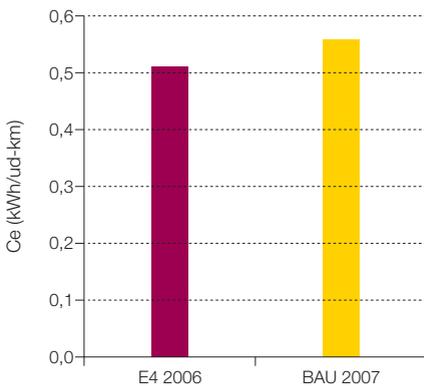
**359** El origen de esta discrepancia lo identificamos en que los datos procesados que aparecen en el Ministerio de Fomento incluyen tan solo la movilidad en la red de carreteras propiedad del estado, del orden del 50% de la total. Consecuentemente, si este dato incompletamente procesado llega a Eurostat, se refleja como un total nacional cuando realmente se ha dejado fuera prácticamente la mitad de ese origen de demanda de movilidad.

**360** Sin duda esto introduce una incertidumbre adicional, que a priori es de esperar que sea en la dirección de infravalorar la previsión "oficial" de consumo energético peninsular.

**361** Debemos señalar que la incertidumbre sobre este dato es muy elevada. En primer lugar porque corresponde al año 2006 mientras que el calibrado se está desarrollando para el año 2007. En segundo lugar porque corresponde a la proyección que en 2003 hizo el IDAE para desarrollar la E4, y por tanto no da un dato real. Y por último, porque como hemos comentado ya en otras ocasiones, en (MINECO, IDAE, 2003) se aprecian divergencias muy importantes respecto a otros escenarios.

El resultado de la figura muestra que en efecto hay, asumiendo temporalmente para el proceso de calibrado que la referencia oficial refleja el valor real de dicho parámetro, un error por exceso, lo que indicaría que las tecnologías empleadas para cubrir la demanda de movilidad en el año 2007 son más eficientes de lo que se reflejó como entrada en el modelo.

**Figura 206.** Comparación de los resultados del modelo y la referencia “oficial” empleada para el calibrado: consumo específico agregado (ud = viaj + t).



Sin embargo, el mayor error potencial parece estar localizado en la demanda de movilidad realmente cubierta por el sistema de transporte en el año 2007. El modelo energético del sector transporte se alimenta con una proyección de la demanda de movilidad elaborada a partir de los datos históricos disponibles hasta el año 2007, por lo que en el punto de calibrado, los datos de movilidad empleados por el modelo se corresponden con la serie histórica.

Sin embargo, tal y como indicamos anteriormente, la caracterización histórica de la

demanda de movilidad es bastante deficiente, lo cual nos obligó a completar los datos históricos disponibles para disponer de series completas con las que poder proyectar la evolución de la demanda de cara al año 2050.

Pero es que además, la propia estimación de la demanda de movilidad histórica contiene un error potencial muy elevado al evaluarse de forma indirecta a partir de otras variables. De hecho, a este respecto conviene señalar que a priori cabría esperar que el error en la evaluación histórica de los datos de movilidad fuera por defecto<sup>362</sup>, dada la parcialidad de los orígenes de la demanda de movilidad que se recogen en los datos oficiales, y la valoración por defecto de los indicadores indirectos empleados para estimar la demanda de movilidad<sup>363</sup>.

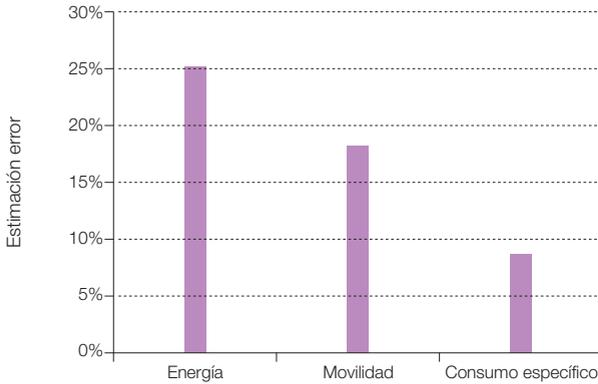
A todo esto se añade el hecho de que las series históricas completadas se han empleado para generar proyecciones hacia el año 2050 de las tendencias de evolución de la movilidad, y en estas proyecciones, el paso fidedigno por el año 2007 de partida resultaba mucho menos relevante que el recoger la tendencia de evolución adecuada de cara al año 2050.

Basándose en un análisis de errores a partir de los resultados disponibles y parámetros de calibrado empleados, hemos evaluado una estimación del error asociado a la demanda de movilidad. La figura 207 recoge este error junto a las dos otras estimaciones de error obtenidas directamente de los datos “oficiales” de calibrado: energía final total y consumo específico agregado. Como podemos apreciar, efectivamente la demanda de movilidad es la principal responsable del error en el consumo de energía final.

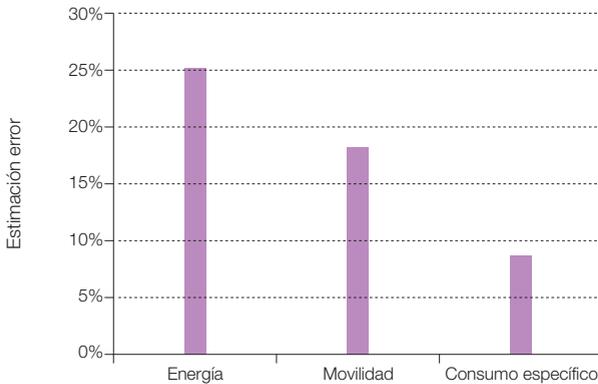
<sup>362</sup> Es decir, que la demanda de movilidad fuera todavía mayor, lo cual conduciría a un consumo energético más elevado todavía como salida del modelo.

<sup>363</sup> A este respecto es de resaltar por ejemplo los valores de tonelaje de los camiones empleados para estimar la movilidad de mercancías, que sistemáticamente parecen estar por debajo de los obtenidos a partir de las encuestas sobre básculas.

**Figura 207.** Resultados del análisis de errores que se derivan del proceso de calibrado, que proporcionan como información principal la estimación del error en la demanda de movilidad.



**Figura 208.** Estimación del error en términos de energía final para el sector transporte en el año 2007.



Según estas estimaciones de los errores en los distintos componentes, hemos elaborado una estimación de los errores en el consumo de energía final asociados al contexto BAU y E3.0 en el año 2007, que difieren, debido tanto a los ligeramente distintos niveles de demanda de movilidad, como sobre todo a los valores significativamente inferiores de consumo específico para la tecnología E3.0 (que

además no están sujetas al error en el consumo específico agregado). Los resultados se encuentran recogidos en la figura 208.

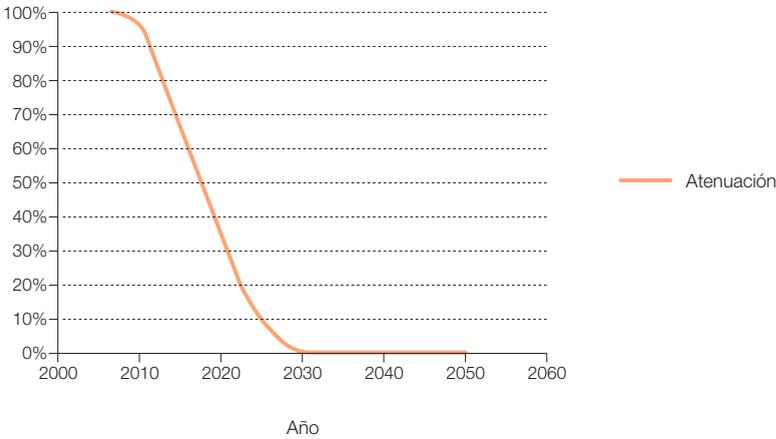
Vamos a asumir este error estimado durante el proceso de calibrado como un error inicial a corregir sobre los resultados del modelo para el año 2007. Sin embargo, creemos que hay argumentos suficientes como para cuestionar

que los datos oficiales de consumo de energía final en el sector transporte caractericen completamente las implicaciones energéticas de este sector en nuestro país.

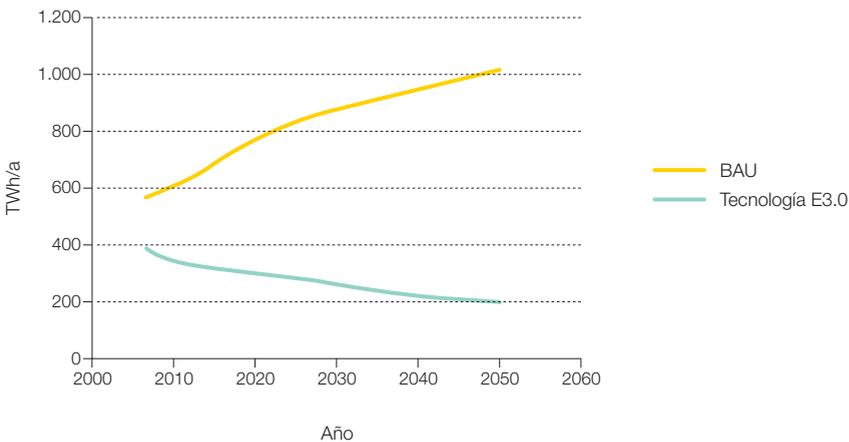
De cualquier forma, todas las incertidumbres que conducen a este posible error en los datos introducidos en el modelo energético

(demanda de movilidad, consumos específicos de las distintas tecnologías, y evaluación oficial del consumo de energía final total para el sector transporte), se van diluyendo a medida que avanzamos por el periodo de tiempo considerado, alejándonos de la situación concreta en el año 2007 y adoptando las evoluciones tendenciales de los escenarios

**Figura 209.** Factor de atenuación del error inicial en el consumo de energía final.



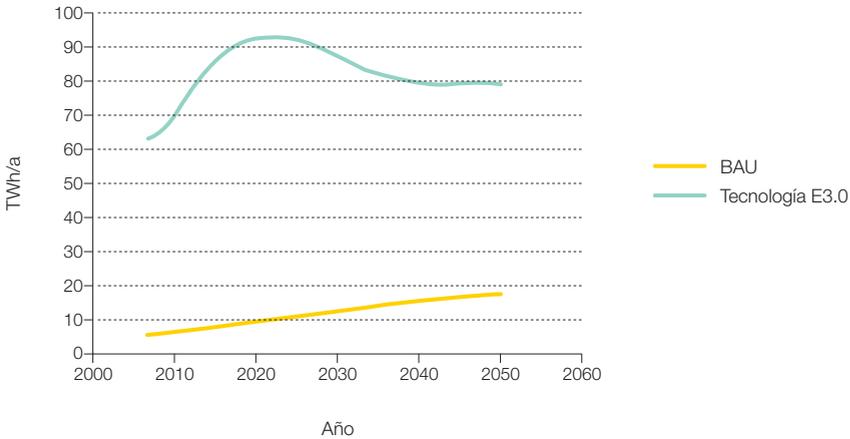
**Figura 210.** Evolución de la demanda total de energía final del sector transporte para los contextos BAU y tecnología E3.0. Situación postcalibrado.



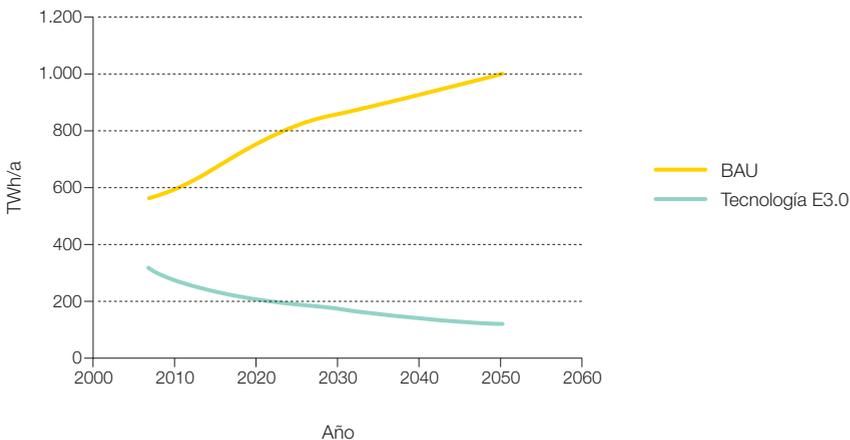
proyectados. Por este motivo, y de cara tan solo a proporcionar una estimación del proceso de evolución, vamos a introducir un factor de atenuación para incorporar este efecto a lo largo del desarrollo del escenario. El planteamiento que hemos hecho es que para el año 2030 ya se ha diluido com-

pletamente el efecto de este error inicial, por lo que los resultados del modelo para los últimos 20 años del periodo considerado, y en concreto para el año 2050 objeto de nuestro análisis, ya no se ven afectados por este error de calibrado inicial. Debemos recalcar que este factor de atenuación recoge tanto

**Figura 211.** Evolución de la demanda total de energía eléctrica del sector transporte para los contextos BAU y tecnología E3.0. Situación postcalibrado.



**Figura 212.** Evolución de la demanda total de energía en forma de combustibles del sector transporte para los contextos BAU y tecnología E3.0. Situación postcalibrado.



la internalización de las causas de error asociadas a la estimación de parámetros de entrada (demanda de movilidad y consumos específicos de las distintas tecnologías), como de la incorporación en las evaluaciones oficiales del consumo de energía final del sector transporte de todas sus contribuciones. La figura 209 recoge la evolución de este factor de atenuación.

Finalmente, en las figuras 210 a 212 recogemos la estructura energética final del sector transporte una vez incorporadas las correcciones de calibrado. Es de resaltar que estos resultados ya vuelven a incorporar el 50% de la movilidad exterior.

### 3.6.6 Escenario transición de BAU a E3.0

Hasta aquí hemos desarrollado escenarios para dos contextos distintos: un contexto BAU bastante progresista, y el contexto de eficiencia que hemos denominado E3.0.

El contexto E3.0 es aquel hacia el que entendemos que debemos evolucionar para cimentar nuestra sociedad sobre unas bases de sostenibilidad. El año 2050 parece un plazo más que razonable para haber desarrollado el contexto E3.0 en nuestro país. Por otro lado, el contexto BAU es aquel del que partimos en la actualidad.

Por tanto, resulta evidente que para evolucionar del contexto BAU al contexto E3.0 será preciso seguir una senda de reconversión de nuestros sistemas energético, económico, político y social. Estos escenarios de introducción del contexto E3.0 pueden ser muy variados y dependen de múltiples factores. En este estudio nos limitamos principalmente a analizar los puntos inicial (BAU)

y final (E3.0), que son comunes a todos los escenarios de introducción del contexto E3.0. Sin embargo, dado que los contextos BAU y E3.0 se han desarrollado en forma de escenarios continuos a lo largo del periodo analizado, resulta ilustrativo echar un ojo a las evoluciones que cabe esperar de la demanda energética bajo distintas opciones de escenarios de introducción del contexto E3.0.

El primer punto a tener presente es que la mayoría de los elementos sobre los que se basa el contexto E3.0 son mecanismos de respuesta rápida<sup>364</sup>. En efecto, a lo largo de este estudio hemos insistido mucho en la necesidad de basar los procesos de cambio en mecanismos de respuesta rápida, puesto que la situación hasta la que hemos dejado que evolucione el sistema climático, como consecuencia de las perturbaciones antropogénicas a las que le hemos sometido, ya no admite considerar los mecanismos de respuesta lenta como una opción para evitar que sobrepasemos los puntos de no retorno del sistema climático: nuestra desidia e incapacidad hasta la fecha para resolver, o incluso afrontar de forma responsable el problema del cambio climático, nos ha conducido a una situación en la que estamos viviendo de las rentas inerciales de dicho sistema.

Por tanto, al estar basado el contexto E3.0 principalmente en mecanismos de respuesta rápida, la capacidad de desarrollar el proceso de cambio no se encuentra con ninguna limitación fundamental que requiera unos plazos mínimos, dependiendo básicamente de la evolución de nuestro sistema político, y por ende de las exigencias que la sociedad ponga en el sistema político para que abra las puertas que permitan la rápida entrada del contexto E3.0. Es decir, el escenario de transición hacia E3.0 que sigamos, depende exclusivamente de nosotros.

<sup>364</sup> Incluso por lo que respecta a aspectos tales como la maduración de la sociedad, un mecanismo que en su conjunto es evidentemente de respuesta lenta, las exigencias para desarrollar el contexto E3.0 son mínimas, en el sentido que se deja que sean las propias fuerzas de mercado las que dirijan la evolución hacia la eficiencia, para lo cual solo es preciso que se modifiquen las condiciones de contorno y señales entrono a las cuales se estructura el sistema económico. La implicación de la sociedad por tanto se limita a su exigencia al sistema político para que mande las señales adecuadas que permitan establecer ese sistema económico basado en prestaciones energéticas, de tal forma que incluso en un contexto de demanda creciente de servicios, se consiga evolucionar por la senda E3.0.

De cara a cuantificar los impactos de distintas opciones, vamos a poner como ejemplo tres escenarios de introducción del contexto E3.0:

- Un escenario que denominaremos retardado, en el cual seguimos retrasando la adopción de medidas efectivas de cambio en nuestro país durante otros 30 años.
- Un escenario que denominaremos lineal, en el cual realizamos una introducción progresiva a tasas del contexto E3.0 constantes a lo largo de todo el periodo de tiempo considerado.
- Un escenario que denominamos responsable, en el cual aceleramos durante los primeros años la introducción del contexto E3.0. A este escenario le denominamos responsable por ser el escenario más<sup>365</sup> consecuente con los requerimientos del sistema climático de los tres analizados.

Anteriormente ya presentamos los ritmos de introducción del contexto E3.0 asociados a los tres escenarios considerados. Un punto que resulta interesante recordar es que el escenario “responsable” presenta unas tasas de introducción del contexto E3.0 al principio del escenario, del mismo orden que las que debe afrontar el escenario “retardado” hacia finales del escenario. Sin embargo, estas tasas máximas de introducción del contexto E3.0 no se traducen por igual en los requerimientos de reducción de la demanda para los escenarios “retardado” y “responsable”.

Debido a la incertidumbre que envuelve a los indicadores empleados para el proceso de calibrado del modelo, presentamos aquí los resultados correspondientes tanto al modelo sin calibrar, como al modelo calibrado, con la idea de que la realidad puede quedar entre medias.

En la figura 213 encontramos los escenarios resultantes de demanda total de energía del sector transporte (viajeros y mercancías) tal y como salen del modelo energético sin aplicar la corrección de calibrado. Como podemos apreciar, la tasa de reducción de la demanda que se requiere desplegar en los primeros años del escenario “responsable” es considerablemente inferior a la que tiene que afrontar el escenario “retardado” en los últimos años del período analizado: cuanto más se retrase el afrontar el problema de forma decidida, más difícil nos va a resultar el resolverlo. Pero es más, en el caso del escenario retardado, esos grandes esfuerzos de reconversión que traspasamos como herencia a la generación de nuestros hijos, tienen muchas posibilidades de resultar inútiles, dado que el pico en la demanda energética del sector transporte en nuestro país se encuentra en torno al año 2030, mucho más allá de la fecha límite según el cuarto informe del IPCC para alcanzar el pico mundial<sup>366</sup> de emisiones (2015), por lo que difícilmente van a contribuir a que el sistema climático sobrepase los puntos de no retorno. Es decir, la herencia que dejamos para las generaciones siguientes a la de nuestros hijos es incluso más lamentable.

El escenario “lineal” muestra una opción intermedia, en la que las mayores tasas de reducción de la demanda de energía se retrasan hacia el final del escenario. Las tasas máximas de este escenario son ligeramente inferiores a las del escenario “responsable”, pero deben sostenerse durante periodos de tiempo más elevados.

La figura 214 recoge los resultados correspondientes al caso del modelo calibrado, donde podemos apreciar cómo se suavizan las tasas de reducción requeridas al principio del periodo de análisis, como consecuencia fundamentalmente de la progresiva

**365** Realmente, el escenario más consecuente con el nivel global y con los requerimientos del sistema climático, ya queda fuera de nuestro alcance, pues hubiera requerido que en los denominados países desarrollados hubiéramos desplegado el contexto E3.0 ya hace algunos años, de tal forma que este contexto pudiera extenderse a las economías emergentes y al resto de países menos desarrollados, al ritmo suficiente para permitir que alcanzáramos un pico de las emisiones globales de GEI en el año 2015.

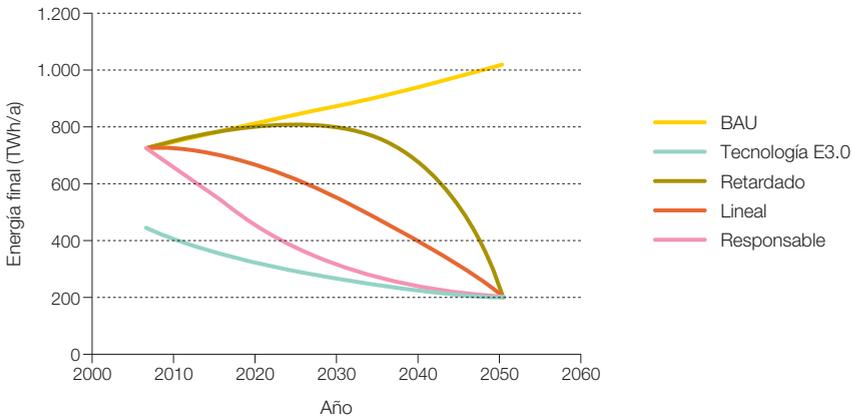
**366** A raíz de las evidencias que nos ha mostrado el sistema climático en los últimos años, hay motivos para pensar que incluso los objetivos marcados en el cuarto informe del IPCC resultan insuficientes para evitar traspasar los puntos de no retorno del sistema climático.

internalización del déficit de demanda de movilidad.

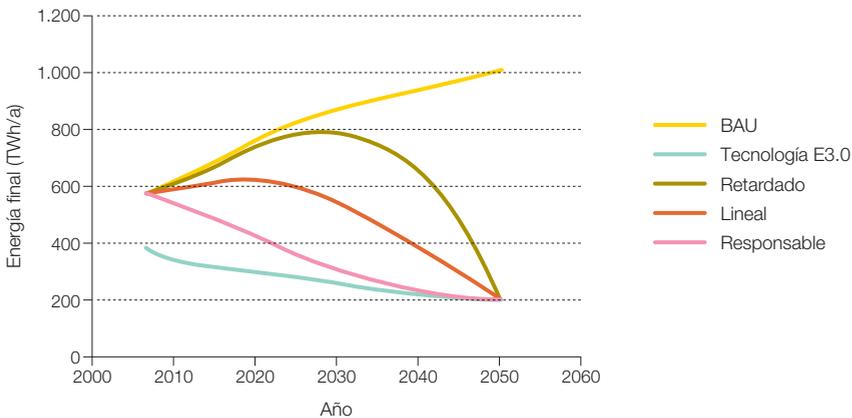
Por último, la figura 215 nos recoge el efecto acumulado de cada uno de los escenarios

sobre la demanda de energía del sector transporte, sin aplicar la corrección por calibrado. Tomando como referencia la demanda acumulada del escenario "retardado", el escenario "responsable" conduce a una

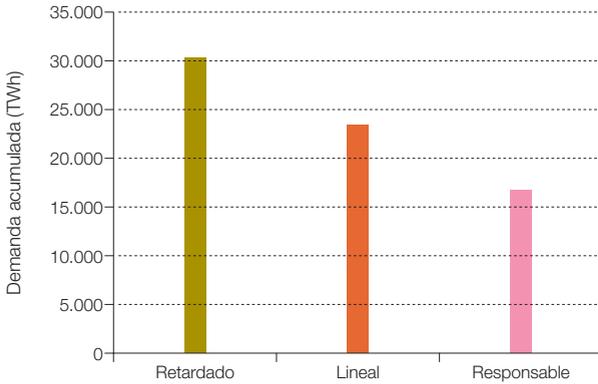
**Figura 213.** Escenarios de demanda de energía del sector transporte (viajeros y mercancías) asociados a los distintos escenarios de introducción del contexto E3.0. Resultados sin corrección por calibrado.



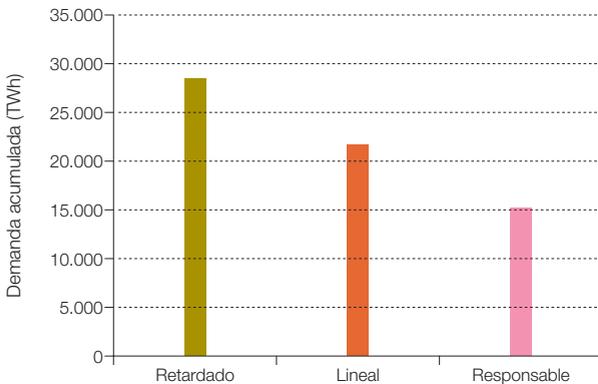
**Figura 214.** Escenarios de demanda de energía del sector transporte (viajeros y mercancías) asociados a los distintos escenarios de introducción del contexto E3.0. Resultados con corrección por calibrado.



**Figura 215.** Demanda total de energía acumulada a lo largo del escenario para el sector transporte (viajeros y mercancías) con los distintos escenarios de introducción del contexto E3.0: caso no calibrado.



**Figura 216.** Demanda total de energía acumulada a lo largo del escenario para el sector transporte (viajeros y mercancías) con los distintos escenarios de introducción del contexto E3.0: Caso calibrado.



demanda acumulada del 54,7%, mientras que el escenario “lineal” conduce a una demanda acumulada de 76,8%. En términos de demanda anual media para el sector transporte, en el escenario “retardado” es de 694 TWh/a, en el “lineal” de 532 TWh/a y en

el “responsable” de 379 TWh/a, lo cual cabe comparar con las demandas anuales medias de los contextos BAU y E3.0, que resultan ser de 869 TWh/a y 285 TWh/a respectivamente. Por tanto, podemos concluir que el potencial de ahorro energético asociado a un

despliegue responsable del contexto E3.0 es muy elevado. En el caso de considerar los resultados del proceso de calibrado (figura 216), las demandas anuales medias para el sector transporte serían, en el escenario “re-tardado” de 654 TWh/a, en el “lineal” de 496 TWh/a y en el “responsable” de 349 TWh/a.

### 3.7 Sector edificación

El sector edificación ya tiene un peso importante en la estructura de la demanda energética de España, y se espera que esta importancia se acentúe en el horizonte de los escenarios considerados, tanto para el caso BAU como para el caso E3.0, por diversos motivos:

- La existencia de un gran parque de edificios construidos (por encima de la demanda real), con escasas consideraciones de eficiencia energética hasta prácticamente la actualidad, y con una larga vida útil por delante.
- Una estructura todavía no saturada de la demanda energética (por ejemplo para refrigeración), que introduce tendencias a incremento de la velocidad crecimiento demanda.
- Mecanismos de respuesta lenta (regulación energética y certificación) de implementación muy reciente y limitada.
- La ausencia de desarrollo de mecanismos de respuesta rápida para acelerar la transición del sector hacia la eficiencia energética.
- Mecanismos económicos establecidos de muy baja eficiencia energética.
- Gran potencial de participación en mecanismos de gestión de la demanda, para convertirse en cómplice de la transición del sistema energético.

La situación actual es, por un lado, bastante desoladora:

- Gran retraso en la implementación de los mecanismos de respuesta lenta, que ha llegado recientemente, después del boom de la construcción en el que se edificó una superficie sensiblemente superior incluso a la demandada<sup>367</sup>.
- Regulación energética con exigencias limitadas.
- Certificación energética de edificios nuevos con una implementación lenta y limitada en relación a su efectividad.
  - Escalas de certificación relativas que permiten, en los edificios no residenciales, que un edificio de mayor consumo adquiera una mejor certificación que otro de menor consumo (García-Casals X., CONAMA 2008).
  - Herramientas de certificación con importantes limitaciones<sup>368</sup>.

Por otro lado, el potencial de mejora en el sector edificación es muy importante, por lo que constituye una pieza clave en el despliegue de un sistema energético sostenible.

Al igual que sucede con el sector transporte, en el contexto de electrificación del sistema energético, resulta prioritaria la implementación de medidas de eficiencia en el sector edificación con la doble finalidad de:

- Limitar la demanda energética, y acotar de esta forma los recursos a movilizar (tanto económicos como de espacio) para configurar un mix energético basado en energías renovables con capacidad para cubrir esta demanda. Adicionalmente, tal y como ilustrábamos en la introducción de este informe,

**367** Fecha de finalización del período transitorio para el Código Técnico de la Edificación (CTE: RD 314/2006): 29/9/2006.  
 • Inicio de la certificación obligatoria de edificios nuevos (RD 47/2007): 31/10/2007.  
 • Entrada en vigor de la actualización del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), encargado de imponer los requerimientos de eficiencia sobre los sistemas energéticos de los edificios en el marco del CTE y de la certificación: 29/2/2008.  
 • Certificación energética de edificios existentes: todavía inexistente en las fechas de redacción de este informe (10/2010).

**368** Hasta tal punto que es posible “pasear” (es decir, hacerle cambiar su calificación) un edificio dado por la escala de calificación sin introducir ninguna mejora real en el mismo a base de modificar la capacidad de cubrir la demanda de confort (García Casals X., CONAMA 2008).