



Una persona introduce carburante en su vehículo convencional en una estación de servicio (Madrid).

©PEDRO ARMESTRE

---

# Escenario de demanda del sector transporte

---

En este capítulo se desarrolla el escenario de demanda energética del sector transporte. Para ello, en primer lugar se elaboran los escenarios de movilidad (cuánto necesitamos movernos), a continuación el reparto por modos de transporte, seguido del consumo específico de cada uno de esos modos, y con todo ello se construyen los escenarios de demanda energética total del sector, tanto en el contexto BAU como en el E3.0.

En el sector transporte, la integración en el sistema energético constituye un elemento fundamental tanto para acelerar la introducción de cobertura renovable de su demanda, como para favorecer las sinergias de este sector con el conjunto del sistema energético. La electrificación es la clave de este proceso de integración, así como del despliegue de eficiencia en este sector.

## 5.1

### Movilidad

Lo primero que se necesita saber para conocer cuánta energía necesitaremos para movernos, es saber cuánto necesitaremos movernos. Por tanto, el primer paso para elaborar los escenarios de demanda de energía del sector transporte es partir de escenarios de movilidad.

Para elaborar los escenarios BAU se parte de la información histórica sobre demanda de movilidad, se consideran los escenarios de demanda de movilidad disponibles en la bibliografía y se tiene en cuenta la correlación de la demanda de movilidad con el PIB. Además, como criterio de reparto de responsabilidades entre el país de origen y destino de esta demanda de movilidad, se ha considerado asignar a España el 50 % de la demanda de movilidad internacional. Con todo ello, se tienen los siguientes escenarios de demanda de movilidad BAU, para viajeros y mercancías:

# Sistema de transporte inteligente, eficiente y 100% renovable

Un sistema de transporte inteligente logra satisfacer los servicios de movilidad con una gran reducción del consumo de energía, gracias a la eficiencia de los vehículos y al alto grado de ocupación que se consigue. La mayor parte del transporte es eléctrico y los vehículos intercambian energía con la red; de esta manera los consumidores participan en la operación y gestión del sistema eléctrico, ofreciendo servicios de gestión de la demanda y facilitando la integración de la electricidad 100% renovable.



Las líneas de ferrocarril compiten en tiempo y servicio con la aviación.



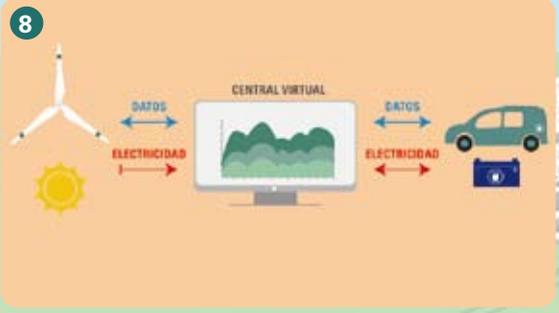
Las necesidades de movilidad se reducen gracias al teletrabajo y a una planificación urbana eficiente que facilita la accesibilidad y los desplazamientos a pie y en bicicleta.



El transporte colectivo es mayoritario y dispone de vehículos eléctricos de distintos tamaños. El usuario contrata servicios de movilidad compartida, de forma más eficiente en tiempo, energía y coste que el uso particular de estos vehículos.



Los vehículos colectivos eléctricos facilitan un mejor aprovechamiento de la infraestructura de transporte. Acercan en origen y destino a otros transportes colectivos como cercanías, trenes, autobuses o metro.



8 Los vehículos eléctricos intercambian energía con la red y la acumulan en sus propias baterías. Son la principal herramienta de gestión de la demanda eléctrica.



7 El uso del avión se reduce a trayectos de larga distancia y operan con bioqueroseno o con hidrógeno de origen 100% renovable.

7 Transporte aéreo

5 Mercancías

4 Vehículos eléctricos

8 Gestión de la demanda

6 Transporte marítimo

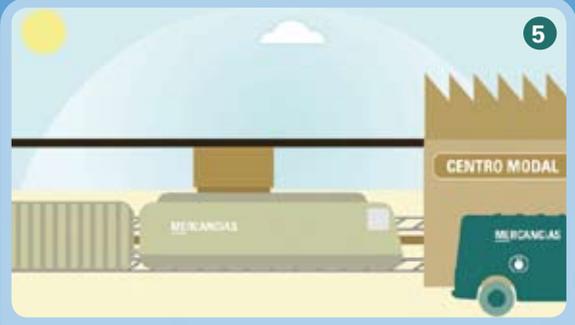
1 Necesidades de movilidad



6 Los barcos se moverán con biocombustibles o hidrógeno de origen 100% renovable, con motores más eficientes y algún apoyo como las velas de altura de guiado automático para reducir consumo.



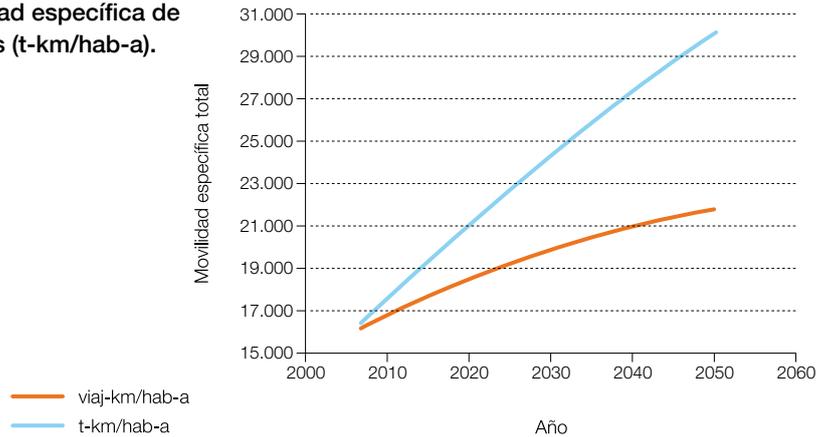
4 El transporte por carretera está totalmente electrificado. Se puede recargar en puntos situados en los garajes de los edificios, en aparcamientos o en la calle, así como en electrolineras en las que proceder a un cambio completo de batería.



5 Las mercancías se transportan hasta los centros modales en vehículos eléctricos medianos donde se cambian a los trenes y, en menor medida, a grandes camiones eléctricos o alimentados con biocombustible o con hidrógeno. Ya en las poblaciones se distribuye en furgonetas eléctricas.

**Para conocer cuánta energía precisaremos para movernos hemos de saber cuánto necesitaremos movernos, cuánto se utilizará cada modo de transporte, y cuánta energía requerirá cada uno de ellos.**

**Figura 65 Escenarios BAU de movilidad específica de viajeros (viaj-km/hab-a) y mercancías (t-km/hab-a).**



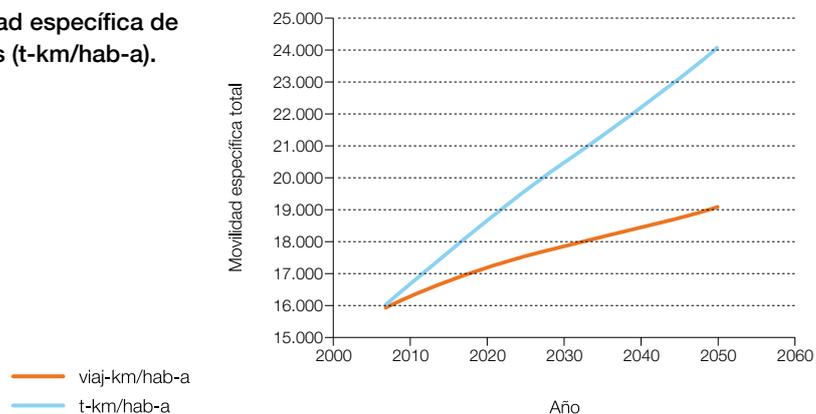
Para elaborar los escenarios E3.0 de demanda de movilidad, se consideran varios factores de eficiencia que permiten lograr una menor demanda de movilidad:

- Desmaterialización de la economía: videoconferencias, teletrabajo, educación a distancia, comercio electrónico.
- Planificación de la accesibilidad, activación del mundo rural: reducción de las necesidades de movilidad

de personas, logística inteligente del transporte de mercancías, incremento de desplazamientos a pie y en bicicleta.

Agrupando todos estos conceptos, se plantea 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, resultando los siguientes escenarios de movilidad específica de viajeros y mercancías:

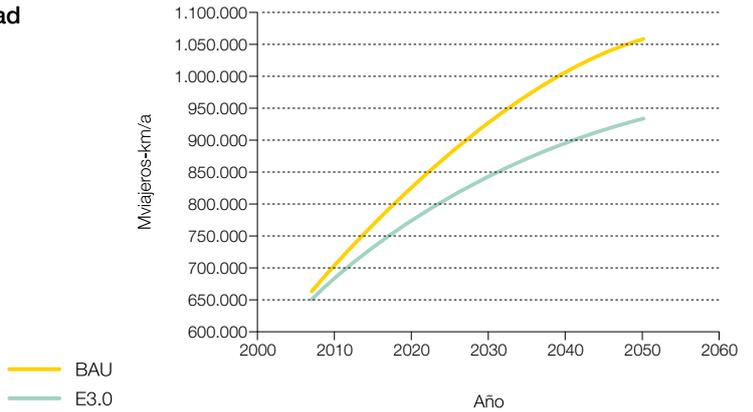
**Figura 66 Escenarios E3.0 de movilidad específica de viajeros (viaj-km/hab-a) y mercancías (t-km/hab-a).**



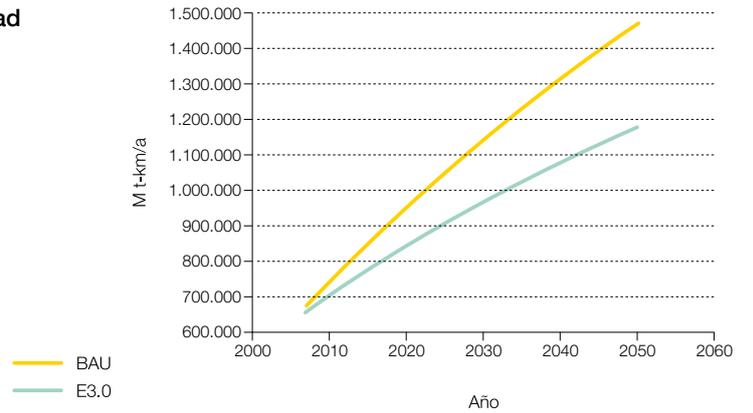
Al cruzar estos escenarios de demanda de movilidad específica de viajeros y mercancías con los escenarios de población peninsular adoptados para este estudio,

se obtienen los escenarios de demanda de movilidad absoluta peninsular:

**Figura 67** Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta total peninsular de viajeros.



**Figura 68** Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta total peninsular de mercancías.



## 5.2

### Reparto modal

Una vez que sabemos cuánto necesitaremos movernos, hace falta saber de qué forma nos moveremos, previo a conocer cuánta energía necesitaremos para ello. Por tanto, el siguiente paso es establecer escenarios de reparto modal de los escenarios de demanda de movilidad total desarrollados en el punto anterior.

Si partimos de la evolución histórica del reparto modal, se desarrolla un escenario del peso de la movilidad urbana sobre la movilidad total<sup>28</sup>, y sobre esa base se desglosa la movilidad urbana e interurbana, tanto de viajeros como de mercancías, para los escenarios BAU y E3.0.

### 5.2.1 Escenarios de reparto modal de la movilidad urbana de viajeros

Se distingue entre los modos motorizados por ferrocarril y carretera, y entre uso particular y colectivo, independientemente de que la propiedad sea pública o privada. **Los modos de transporte no motorizados 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.

La diferencia fundamental entre los enfoques BAU y E3.0 es la gran reducción en el escenario E3.0 del modo particular carretera, a favor del colectivo carretera y del colectivo metro. En este escenario los modos colectivos

<sup>28</sup> Respecto al peso de la demanda de movilidad urbana frente a la demanda de movilidad total, se plantean escenarios tendenciales con una contribución creciente de la movilidad urbana, pero con una tendencia a la saturación hacia el final del periodo considerado.



Una persona intenta tomar un taxi durante una concentración de trabajadores de este servicio en las principales calles de Madrid.

emplean una mayor diversidad de vehículos: coche eléctrico, bus eléctrico de 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, al proporcionar ese servicio a los usuarios finales en unas condiciones mucho más favorables que las asociadas al uso particular de esos vehículos.

El elemento conceptual fundamental que permite apoyar este planteamiento es el de la implementación de un sistema de transporte inteligente (STI). 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 compartidos con otros usuarios.

En cuanto al metro, en un contexto E3.0, 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.

Con ello, el reparto modal del transporte urbano motorizado de viajeros quedaría de la siguiente forma en los escenarios BAU y E3.0:

Figura 69 Escenarios BAU de reparto modal del transporte urbano motorizado de viajeros.

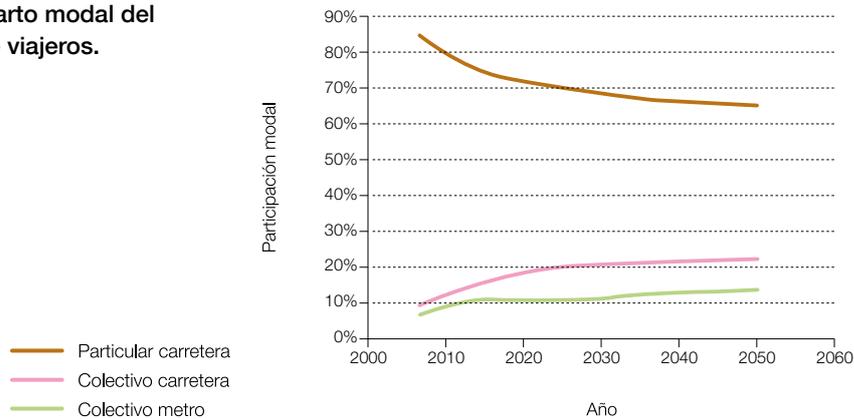
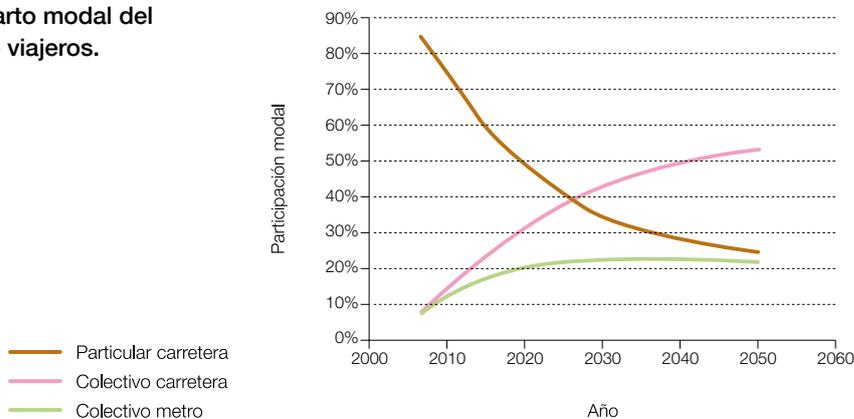
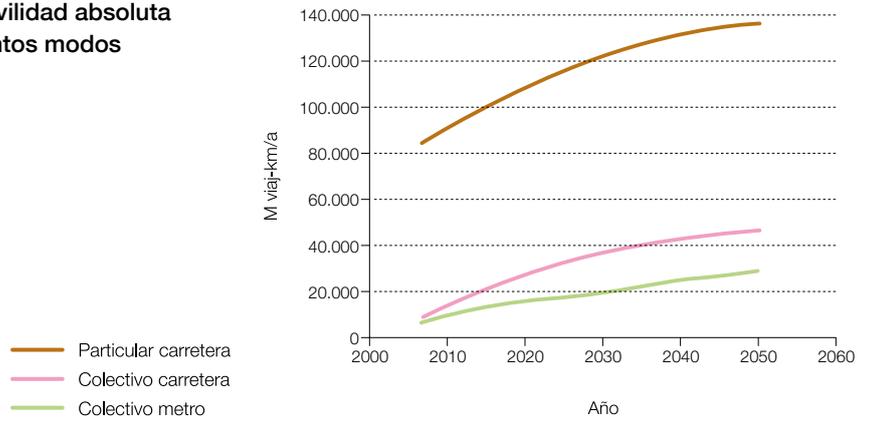


Figura 70 Escenarios E3.0 de reparto modal del transporte urbano motorizado de viajeros.

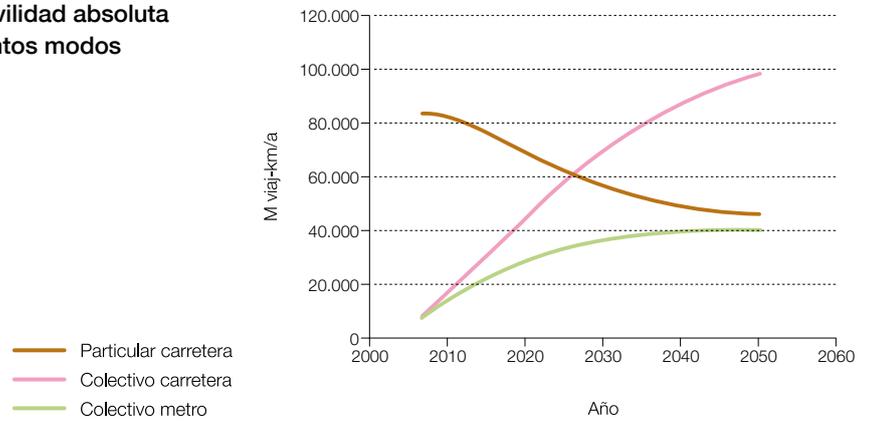


Y en cuanto a la movilidad absoluta:

**Figura 71 Escenarios BAU de movilidad absoluta urbana de viajeros para los distintos modos motorizados.**



**Figura 72 Escenarios E3.0 de movilidad absoluta urbana de viajeros para los distintos modos motorizados.**

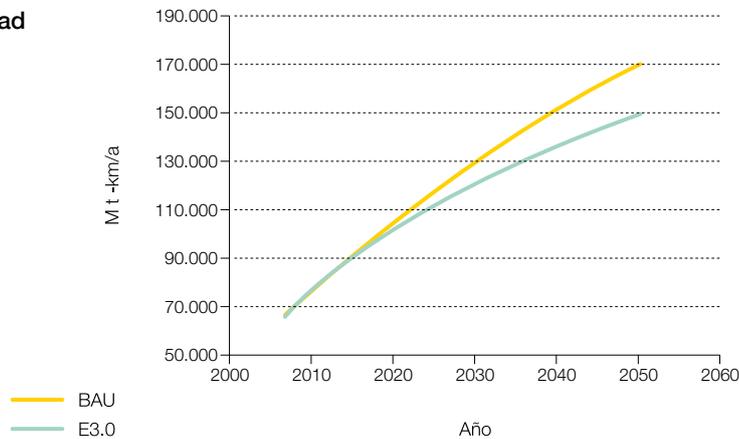


**El escenario Energía 3.0 se basa en un sistema de transporte inteligente (STI), cuyo eje central es un nuevo modelo de transporte colectivo con vehículos de distintos tamaños operados por el STI y sobre los que el usuario contrata servicios de movilidad compartidos con otros usuarios.**

### 5.2.2 Escenarios de reparto modal de la movilidad urbana de mercancías

Para la movilidad urbana de mercancías solo se considera un modo, la carretera, que evolucionaría de acuerdo con los siguientes escenarios:

**Figura 73 Escenarios BAU y E3.0 de movilidad absoluta urbana de mercancías.**



### 5.2.3 Escenarios de reparto modal de la movilidad no urbana de viajeros

Para elaborar los escenarios de cada modo de transporte, se tienen en cuenta diversas consideraciones:

- Respecto a la movilidad de viajeros por barco, debido a los mayores tiempos de desplazamiento es difícil plantearse que este modo llegue a alcanzar pesos relativos importantes.
- Respecto a la movilidad por ferrocarril, en el contexto E3.0 se plantea una mayor participación porcentual de este modo de transporte, apoyada por el STI y por la reducción de la movilidad total que afecta principalmente a otros modos de transporte.
- Respecto a la movilidad por avión, en el contexto E3.0 se plantea una máxima migración del modo aéreo a otros modos de transporte con mayores opciones de incorporar energías renovables. Así, se consigue que el modo aéreo alcance un máximo en torno al año 2020, por un lado mediante la reducción de demanda de movilidad por desmaterialización, especialmente centrada en este modo de transporte, y por otro lado al impulsar el modo ferrocarril apoyado por el modo

carretera en un contexto de STI. Para conseguir una sustitución significativa del modo aéreo por el 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.

- En cuanto a la movilidad por carretera, 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 demanda de movilidad en otros modos, hace que se vayan atenuando las tasas de decrecimiento para alcanzar un mínimo en torno a 2030 y luego tender a estabilizarse. En términos de movilidad absoluta, 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. Ahora bien, 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. Así, el modo

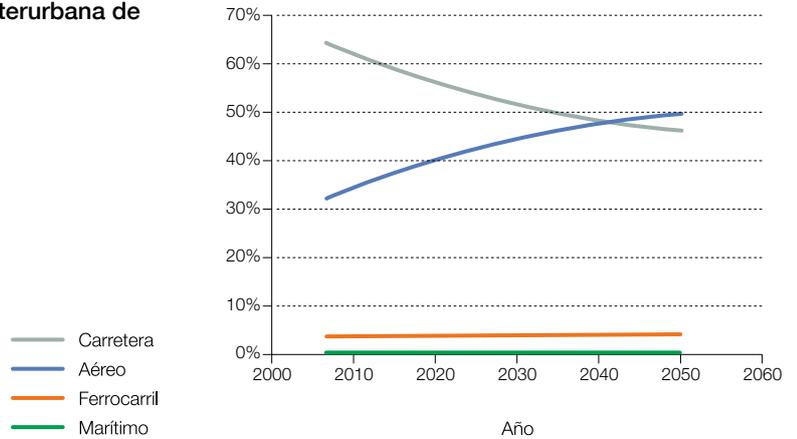
carretera (también eléctrico como el ferrocarril, y con un consumo específico comparable), puede entenderse como una ramificación del modo ferrocarril para llegar hasta la puerta del origen y destino de las demandas de movilidad. En cuanto a la distinción entre coches y autocares, en el E3.0 el STI acomoda los tamaños de los vehículos a la demanda de movilidad para alcanzar, en todos los casos, elevados factores de capacidad, y emplea además vehículos principalmente eléctricos, de tal forma que las diferencias en consumo específico son menores. Y en cuanto a la distinción entre los dos submodos particular y colectivo, se considera una fuerte transición del modo particular hacia el colectivo

en el marco de un STI, donde el término colectivo abarca no solo el transporte público, sino todas esas situaciones en que la operación del vehículo está gobernada por el STI.

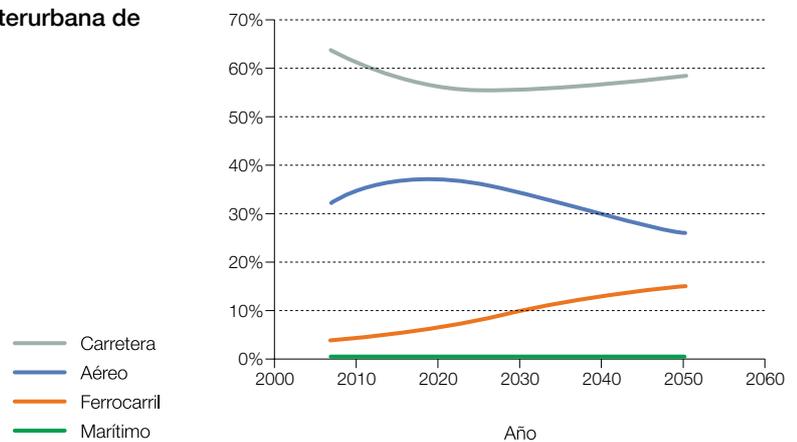
- En cuanto a las infraestructuras, una de las funciones del despliegue del STI es la optimización de aquellas infraestructuras de transporte que ya están implementadas.

Con todo ello, resultan los siguientes escenarios de participación modal en la movilidad interurbana, para los contextos BAU y E3.0, tanto en términos relativos como absolutos para la península:

**Figura 74** Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros en escenario BAU.

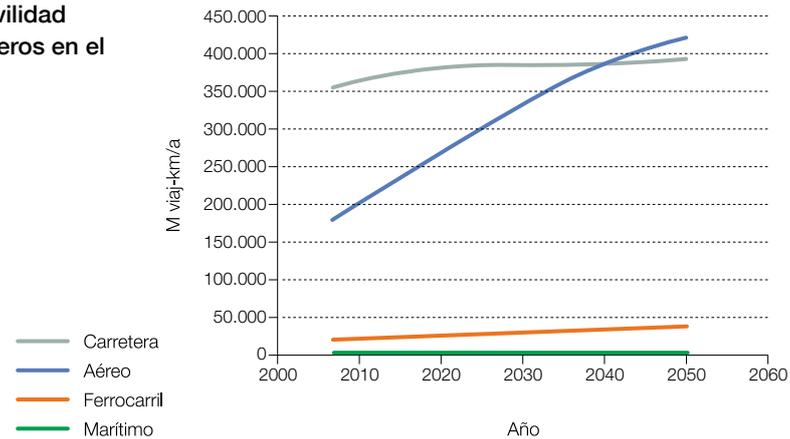


**Figura 75** Peso modal de la movilidad interurbana de viajeros en escenario E3.0.

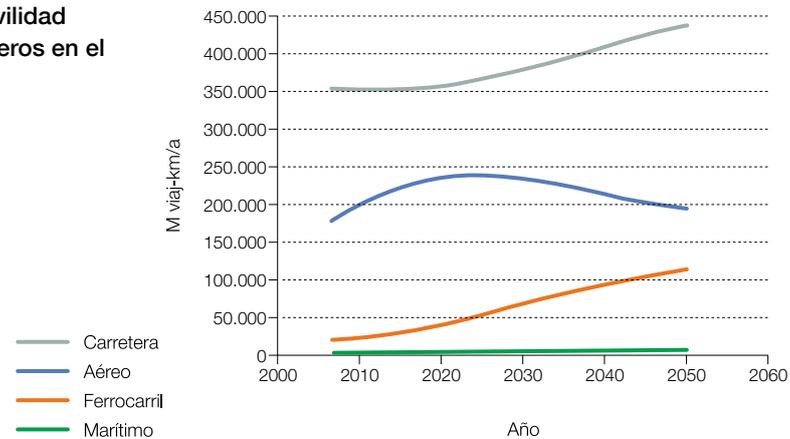


**Respecto a la movilidad por avión, en el contexto E3.0 se plantea una máxima migración del modo aéreo a otros modos de transporte con mayores opciones de incorporar energías renovables.**

**Figura 76** Participación modal en la movilidad interurbana absoluta peninsular de viajeros en el escenario BAU.



**Figura 77** Participación modal en la movilidad interurbana absoluta peninsular de viajeros en el escenario E3.0.



### 5.2.4 Escenarios de reparto modal de la movilidad no urbana de mercancías

La primera diferenciación importante entre los contextos BAU y E3.0 se encuentra en el caso del transporte de mercancías por ferrocarril. En el contexto E3.0 se plantea un fuerte incremento de la movilidad por ferrocarril como sustituto del transporte por carretera, facilitado por el enfoque intermodal coordinado del 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. Esta transición viene impulsada por la necesidad de absorber una parte importante de la movilidad por carretera, que en principio puede resultar más problemática de electrificar por completo, aunque la opción de camiones eléctricos con reposición de baterías en destino final y con una red de electrolineras distribuidas por las rutas principales también puede resultar adecuada.

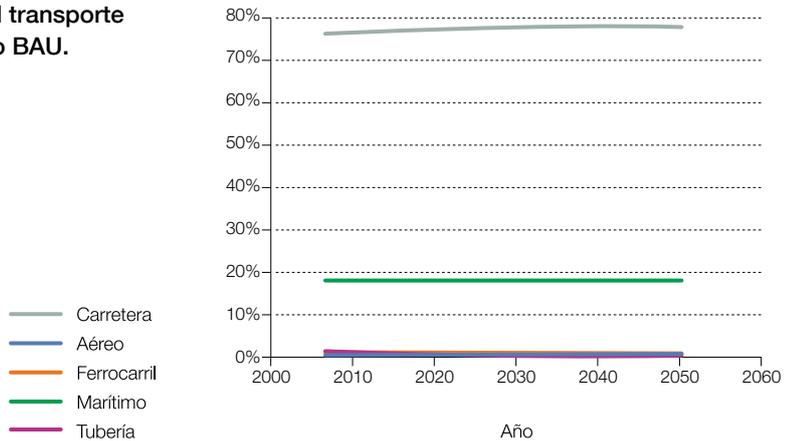
El transporte de mercancías por carretera, en el contexto E3.0, alcanza su máxima participación modal en torno a la actualidad, para posteriormente evolucionar con

tasas decrecientes, a un mayor ritmo al principio por forzar el cambio modal hacia el ferrocarril, para reducirse posteriormente el ritmo de decrecimiento a medida que empiecen a introducirse los camiones eléctricos para transporte de mercancías.

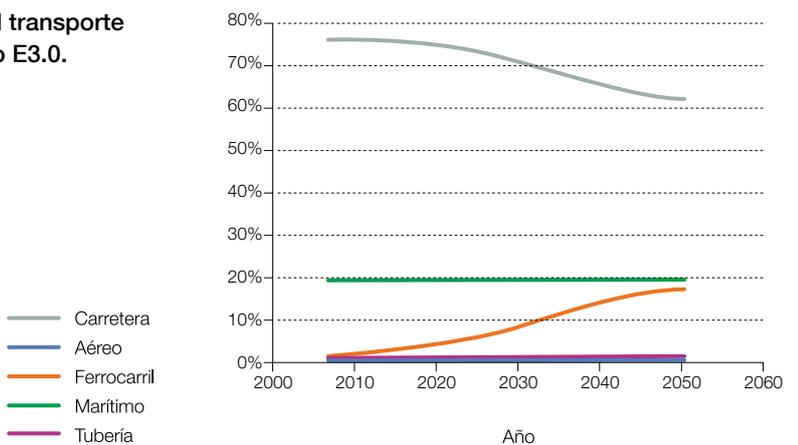
Con todo ello, resultan los siguientes escenarios de evolución de la movilidad en los distintos modos de

transporte no urbano de mercancías, para los contextos BAU y E3.0, tanto en términos relativos como absolutos para la península. Como muestran las figuras 78, 79, 80, 81 y 82, en el contexto BAU los modos carretera y marítimo presentan una movilidad tan elevada respecto a los otros que se requiere una ampliación de la escala del gráfico para distinguir los otros modos.

**Figura 78** Escenario evolución modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU.

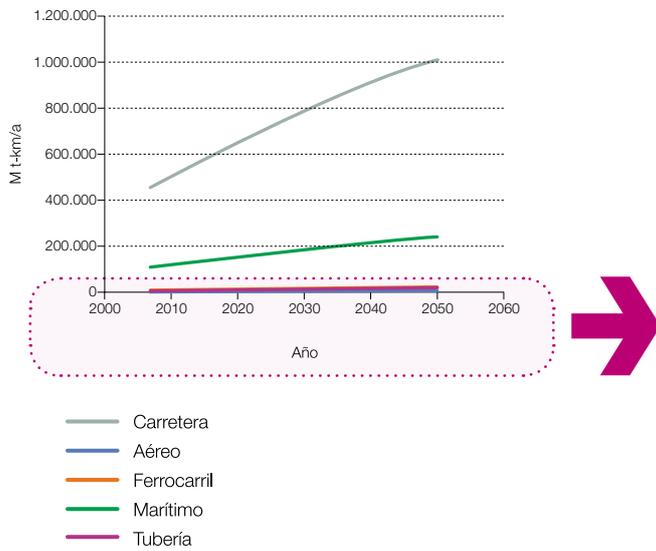


**Figura 79** Escenario evolución modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto E3.0.

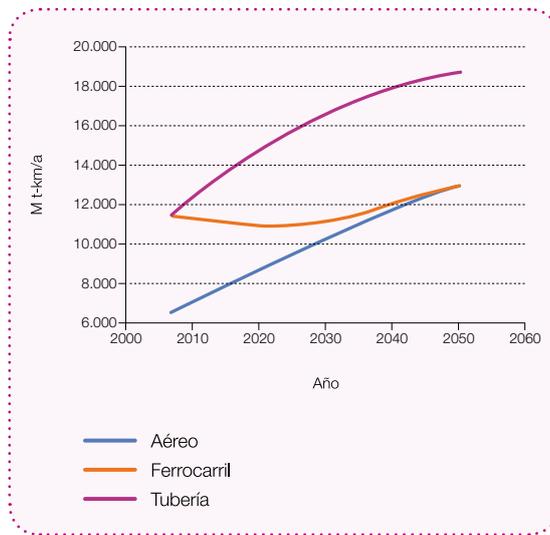


**En el contexto E3.0 se plantea un fuerte incremento de la movilidad de mercancías por ferrocarril como sustituto del transporte por carretera.**

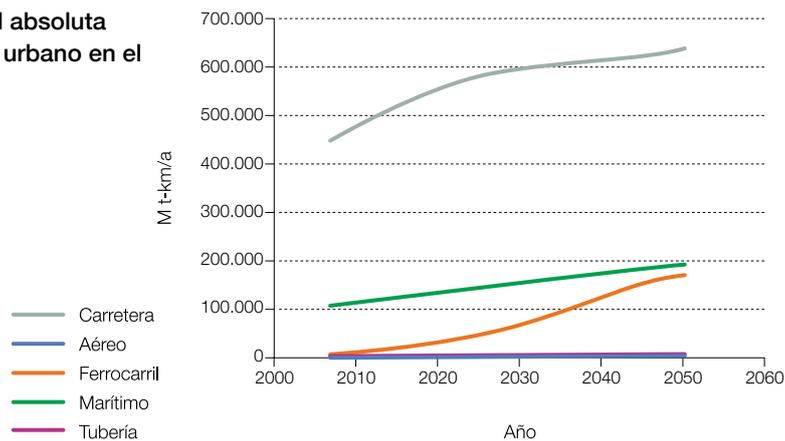
**Figura 80** Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU: todos los modos.



**Figura 81** Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto BAU: excluyendo modos dominantes de carretera y barco.



**Figura 82** Escenario evolución movilidad absoluta modal del transporte de mercancías no urbano en el contexto E3.0.



## 5.3

### Consumo de energía por modos de transporte

El siguiente paso es conocer cuánta energía necesitará cada modo de transporte, para lo que se desarrollan escenarios de evolución del consumo específico para los distintos modos de transporte de viajeros y mercancías.

Como se muestra a continuación para cada tipo de vehículo, el consumo específico modal viene determinado por dos efectos: el consumo específico de los vehículos empleados, y los factores de ocupación o de carga (CF) con el que se emplean estos vehículos. El consumo específico de los vehículos viene afectado por las mejoras y/o cambios tecnológicos, mientras que los factores de ocupación o de carga se ven especialmente afectados por la introducción de inteligencia en el sistema de transporte.

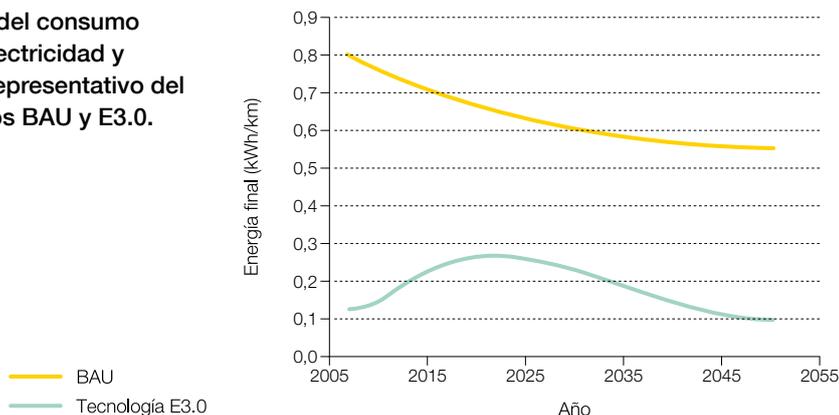
Estos son factores clave, y para conseguir desplegar el máximo potencial del STI hace falta una reestructuración económica del sector transporte para que el origen de los beneficios obtenidos pase de ser el número de vehículos vendidos, a ser la cobertura de la demanda de servicio de movilidad con el mínimo consumo energético y la máxima comodidad para los usuarios.

### 5.3.1 Coche

Para el escenario BAU se supone que la eficiencia energética media del parque de vehículos mejora significativamente a lo largo de todo el escenario, con una hibridación<sup>29</sup> creciente que llega a alcanzar el 20 % en el año 2050. Para el escenario de tecnología<sup>30</sup> E3.0 se asume una electrificación total del parque de coches. Al principio, el consumo específico se eleva debido al aumento del tamaño y de las prestaciones de los vehículos. Posteriormente se estabiliza y empieza a reducirse cuando se introducen mejoras de eficiencia.

El siguiente aspecto a considerar es cómo se usan esos coches, fundamentalmente cuál es la ocupación con la que se usan los coches, es decir, su factor de ocupación. En el contexto BAU, se asume que se consigue invertir la tendencia histórica a la reducción de este factor durante los próximos años, para posteriormente pasar a adquirir tasas crecientes del mismo hasta el final del escenario. En el contexto E3.0, el coche evoluciona progresivamente hacia una situación de servicio colectivo desde su condición actual de servicio particular, de forma que mayoritariamente ya no necesitan ser propiedad del demandante del servicio de movilidad, sino de una empresa (pública o privada) de prestación de servicios de movilidad. 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.

**Figura 83 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.**



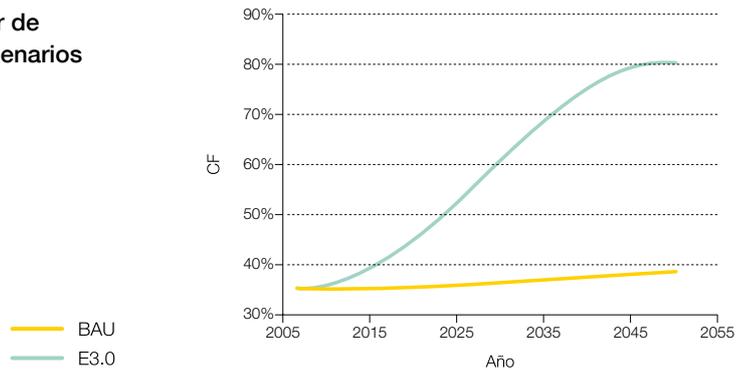
<sup>29</sup> Entendida como el porcentaje del consumo fósil que es sustituido por electricidad, referida al promedio del parque de coches.

<sup>30</sup> El consumo energético en los escenarios de tecnología E3.0 es el que se obtendría de aplicarse dicha tecnología eficiente en cada momento. Por eso no tienen por qué partir del mismo punto que los BAU, ya que incluso en la actualidad el consumo energético sería diferente de utilizarse la tecnología E3.0 actual o la tecnología BAU. El grado de utilización de una u otra tecnología aparecerá reflejado en los escenarios de transición.



En 2008 el Ayuntamiento de Madrid puso en marcha su segunda línea de microbuses eléctricos. Además de su alimentación exclusivamente eléctrica, su tamaño permite que accedan a lugares donde con otro modelo de autobús no es posible.

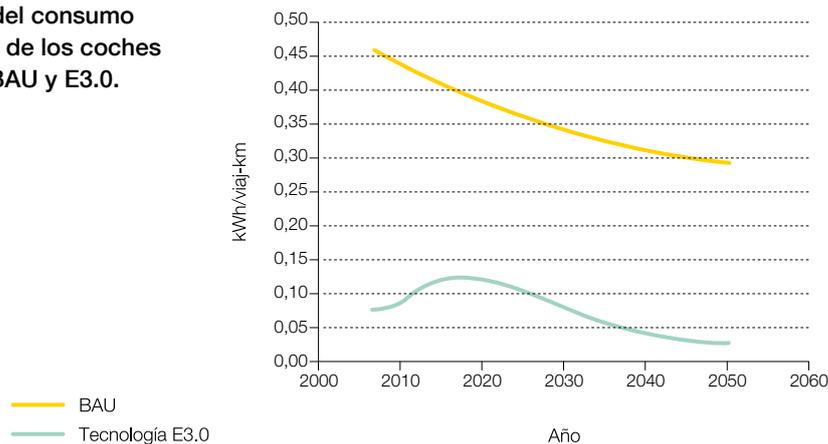
**Figura 84** Escenarios de evolución del factor de ocupación del parque de coches en los escenarios BAU y E3.0.



Con todo ello se elaboran los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad del modo de transporte coche. El contexto E3.0 presenta una mayor eficiencia, gracias a la electrificación y a la concentración en compañías operadoras de servicios de movilidad, con la ventaja adicional de ofrecer un gran potencial de contribución a la regulación del sistema energético

integrado. De este modo, 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 adquiere un nuevo papel, y deja atrás sus inconvenientes actuales (contaminación, ineficiencia, atascos, accidentes, elevada ocupación del suelo) y mantiene sus ventajas de mayor elasticidad.

**Figura 85** Escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad de los coches representativos en los escenarios BAU y E3.0.



### 5.3.2 Moto

La principal diferencia del contexto E3.0 respecto al BAU es la introducción de motos (o bicicletas) eléctricas, que podrían incluso llegar a tener una capacidad de conducción automática con el STI. Mientras para el contexto BAU se plantea un escenario optimista con una sensible reducción en el consumo específico, para el E3.0 se plantea un escenario conservador de consumos

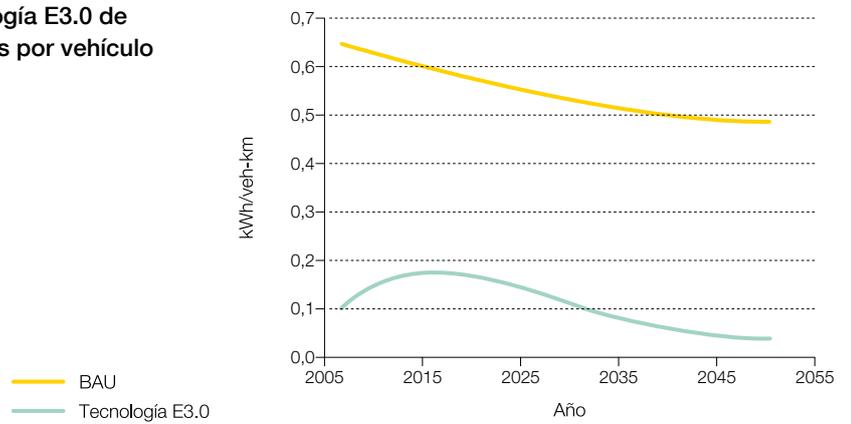
de las motos eléctricas en el que, si partimos de los valores actuales, habrá una primera etapa de crecimiento del consumo medio del parque asociada al incremento de prestaciones de las motos comercializadas, que a medida que pase el tiempo será contrarrestado por los incrementos de eficiencia en el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

Por lo que respecta a la ocupación, en un contexto BAU se considera que no hay opción de mejora respecto a la

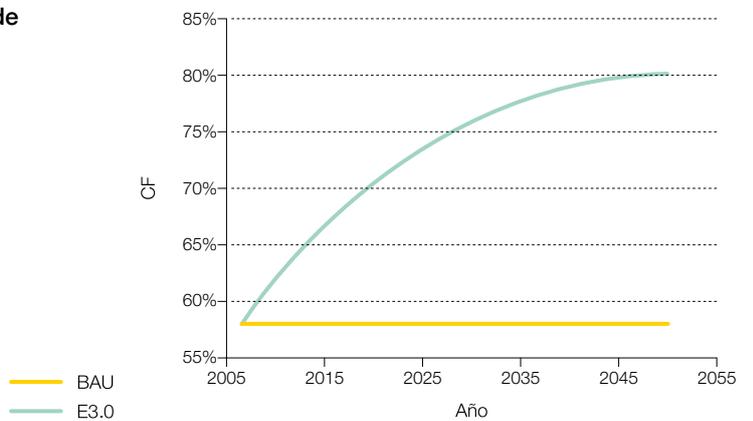
situación actual, mientras que en E3.0 el STI es el que marca las diferencias fundamentales.

Con todo ello se elabora el escenario de consumos específicos por unidad de movilidad para las motos.

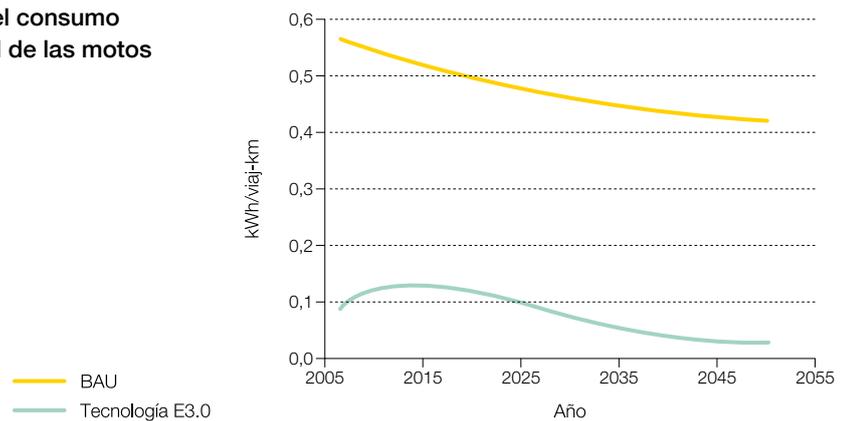
**Figura 86 Escenarios BAU y tecnología E3.0 de consumos específicos de las motos por vehículo representativo del parque.**



**Figura 87 Escenarios BAU y E3.0 del factor de ocupación de las motos.**



**Figura 88 Escenarios BAU y E3.0 del consumo específico por unidad de movilidad de las motos representativas en cada escenario.**



## El coche evoluciona en el modelo Energía 3.0, progresivamente, hacia una situación de servicio colectivo desde su condición actual de servicio particular hacia empresas de prestación de servicios de movilidad.

Se comprueba que, aunque en el contexto BAU la moto presenta un mayor consumo específico por pasajero (unidad de movilidad) que el coche, en el contexto E3.0 ambos tienden a igualarse, gracias al menor consumo específico por vehículo de la moto, lo que permitiría omitir la diferenciación entre coches y motos en el contexto E3.0.

### 5.3.3 Autobús (transporte colectivo urbano de viajeros por carretera)

En cuanto al consumo por vehículo, en el contexto BAU se supone una hibridación creciente a partir del año 2014, mientras que en la tecnología E3.0 los autobuses son totalmente eléctricos<sup>31</sup>. Además de su mayor eficiencia, estos autobuses tienen grandes ventajas

desde el punto de vista del funcionamiento de un sistema energético integrado, que facilitan su participación en esquemas de gestión de la demanda eléctrica: la capacidad de acumulación eléctrica de las baterías, el patrón de uso muy predecible del parque de autobuses y la explotación por grandes empresas.

Los factores de capacidad en el contexto E3.0 son considerablemente superiores a los del BAU, por la existencia de un STI que involucra distintos tamaños de vehículo en función de la demanda de movilidad real.

Las figuras 89, 90 y 91 recogen los escenarios de consumo energético total por unidad de vehículo, factor de ocupación y consumo energético por unidad de movilidad, tanto para el contexto BAU como para la tecnología E3.0.

Figura 89 Escenarios de consumo total específico por vehículo del bus en los contextos BAU y tecnología E3.0.

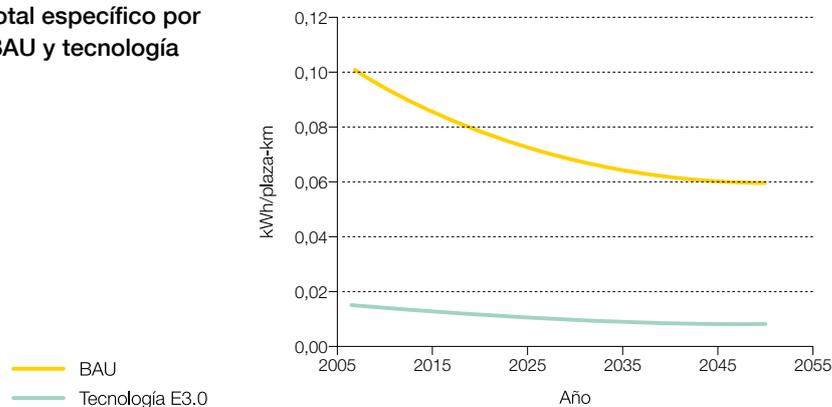
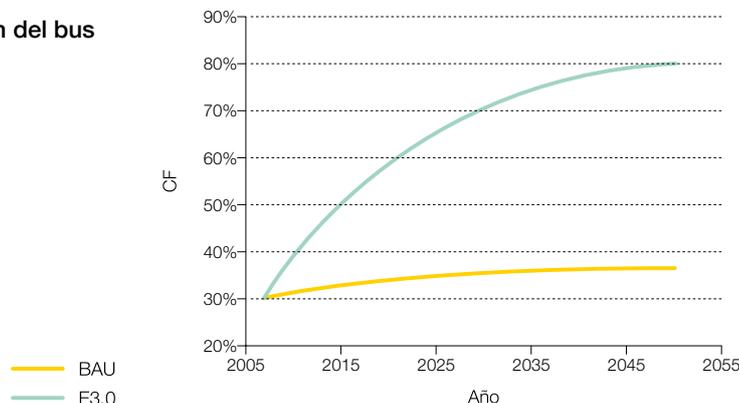
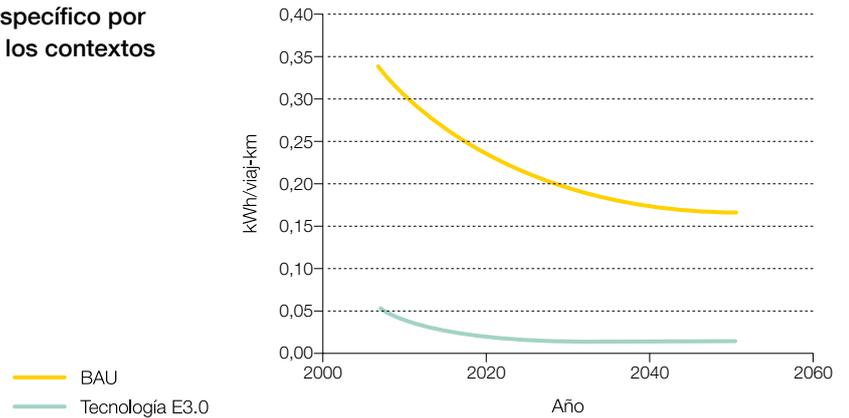


Figura 90 Escenarios de factor de ocupación del bus en los contextos BAU y E3.0.



<sup>31</sup> Se incluyen en este concepto los tranvías y similares.

**Figura 91 Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el bus en los contextos BAU y tecnología E3.0.**



### 5.3.4 Autocar (transporte colectivo interurbano de viajeros por carretera)

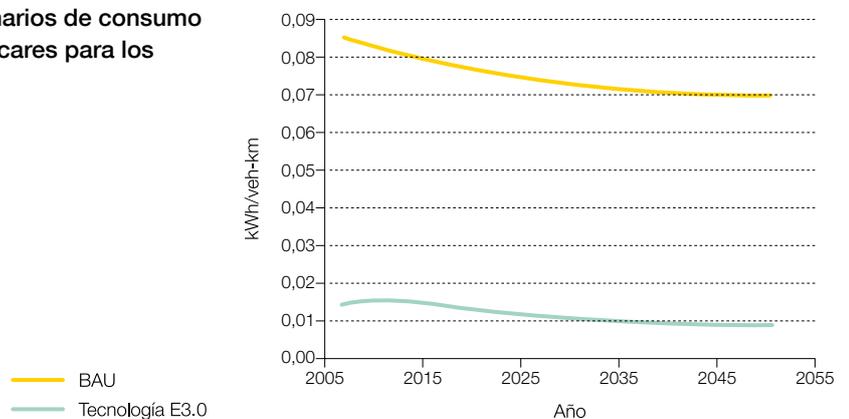
El consumo específico en ambos escenarios se diferencia en que, mientras para el contexto BAU se mantiene el uso del motor de combustión interna sin hibridación alguna, en la tecnología E3.0 los autocares son 100 % eléctricos, y se cuenta con que en las estaciones finales se puede proceder a un cambio completo de batería (sin esperar a recarga).

En cuanto a la ocupación, así como en el contexto BAU los autocares siguen circulando con CF muy bajos en

algunos trayectos, en el contexto E3.0 soportado por un STI, estas situaciones de ineficiencia extrema se eliminan cubriendo esas demandas de movilidad con otros vehículos (coches, furgonetas, minibuses, etc.) usados con elevado CF.

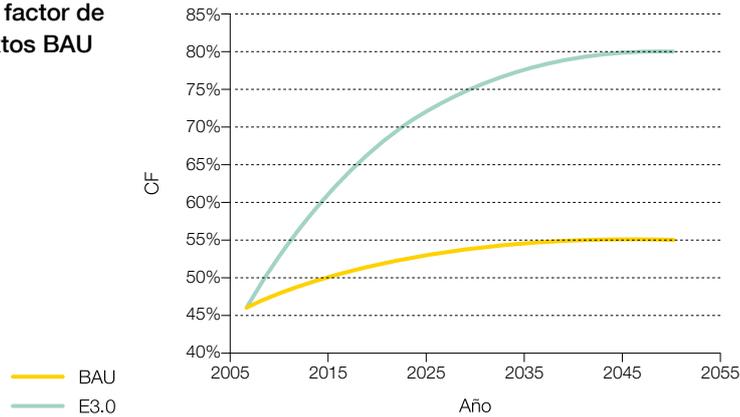
En la tecnología E3.0 el autocar consume del orden de la mitad que el coche por unidad de movilidad, aunque la cobertura de demanda de movilidad que hacen los autocares es inferior a la que se plantearía con un enfoque BAU, debido a que su uso se limita a esas situaciones en que se puede alcanzar un elevado CF.

**Figura 92 Comparativa de los escenarios de consumo específico por vehículo de los autocares para los contextos BAU y tecnología E3.0.**

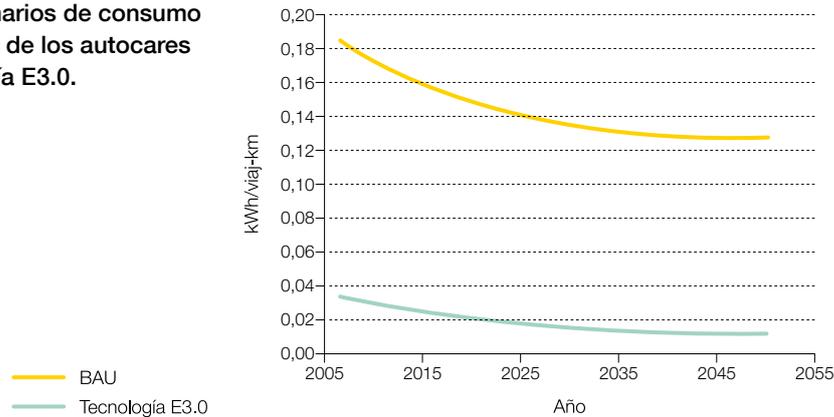


**En la tecnología E3.0 los autocares son 100 % eléctricos y se cuenta con que en las estaciones finales se puede proceder a un cambio completo de batería (sin esperar a recarga).**

**Figura 93** Comparativa de los escenarios de factor de ocupación de los autocares para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 94** Comparativa de los escenarios de consumo específico por unidad de movilidad de los autocares para los contextos BAU y tecnología E3.0.



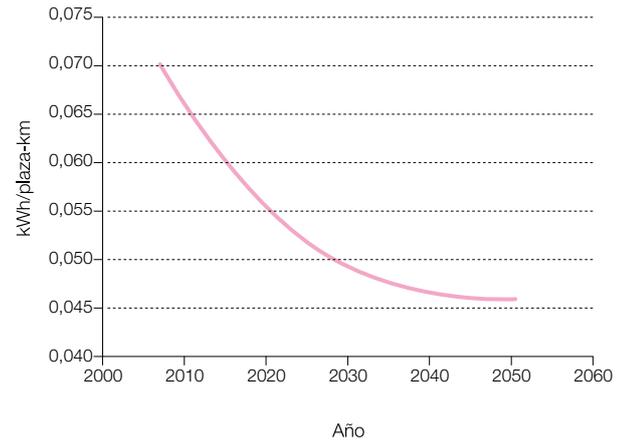
### 5.3.5 Metro (transporte urbano de viajeros por ferrocarril)

El potencial de reducción del consumo del metro, que se asume igual en ambos escenarios, 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,

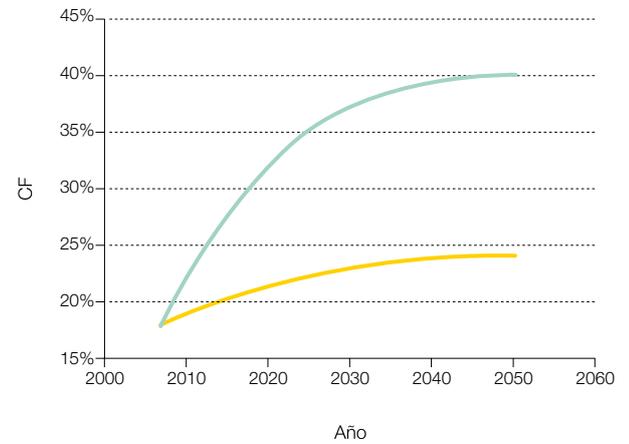
y además, el efecto túnel empeora su aerodinámica respecto a la de un tren.

La principal diferencia entre ambos escenarios está en el grado de ocupación, ya 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.

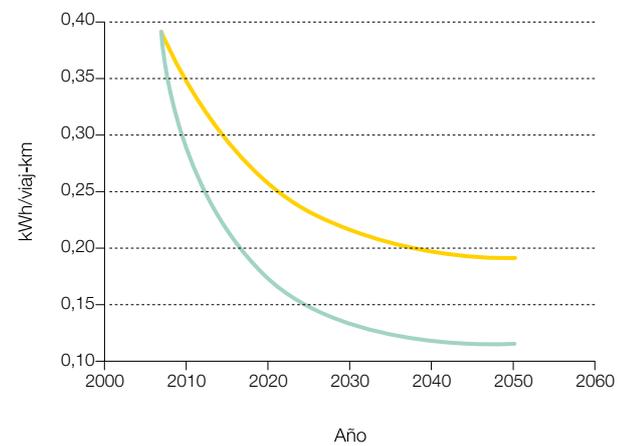
**Figura 95** Evolución del consumo específico del metro para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 96** Evolución de los factores de ocupación del metro para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 97** Consumo específico por unidad de movilidad para el metro en los contextos BAU y E3.0.



## La mejor opción de eficiencia con la demanda de movilidad a través del avión es reducirla lo más posible, con elementos como la desmaterialización de la economía o la internalización de costes externos.

### 5.3.6 Tren de pasajeros (transporte interurbano de viajeros por ferrocarril)

Por lo que se refiere a los consumos específicos por unidad de plaza, ambos escenarios BAU y E3.0 acaban incorporando todo el potencial de frenado regenerativo, e implementando las mismas técnicas de conducción eficiente, reducción de peso, electrificación y mejoras técnicas. Los consumos específicos planteados representan un promedio de los trenes de alta velocidad, largo recorrido y cercanías. 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 planteada en los escenarios.

Por lo que a la ocupación se refiere, en el contexto E3.0 se considera que el factor de ocupación es superior

por la integración del tren en el STI, y por una mayor participación de los trenes de velocidades altas, ya que un motivo para que el tren tenga una participación importante en el contexto E3.0 es debido a su capacidad de desplazar al avión en los desplazamientos de larga distancia, donde los consumos específicos del avión son muy superiores.

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, al acercar en origen y destino el tren (y particularmente el de cercanías) a la demanda de movilidad. Esto conduce a un incremento del CF con el que opera el tren y por tanto a una mejora de su eficiencia. 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.

Figura 98 Consumo específico del tren por plaza disponible. Escenario común para los contextos BAU y E3.0.

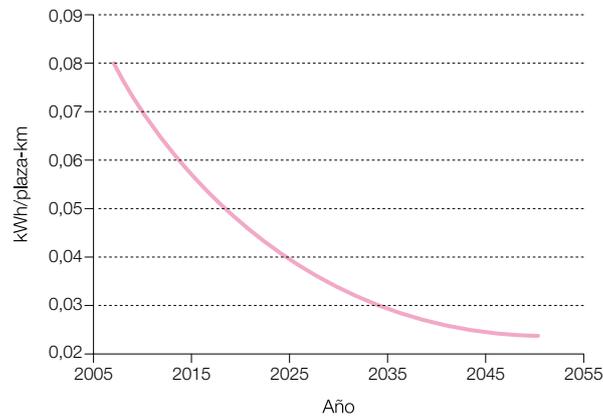
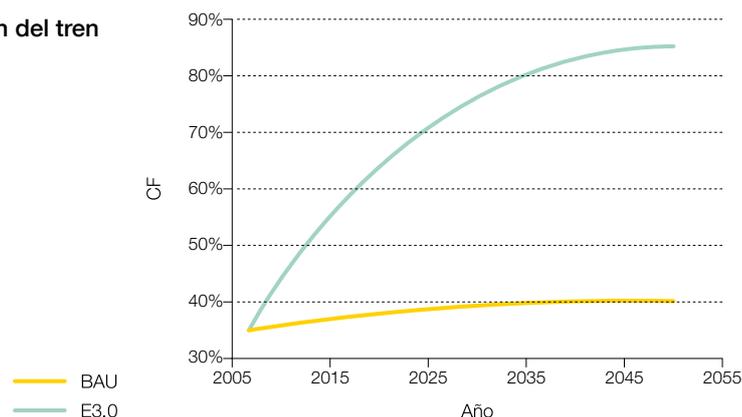
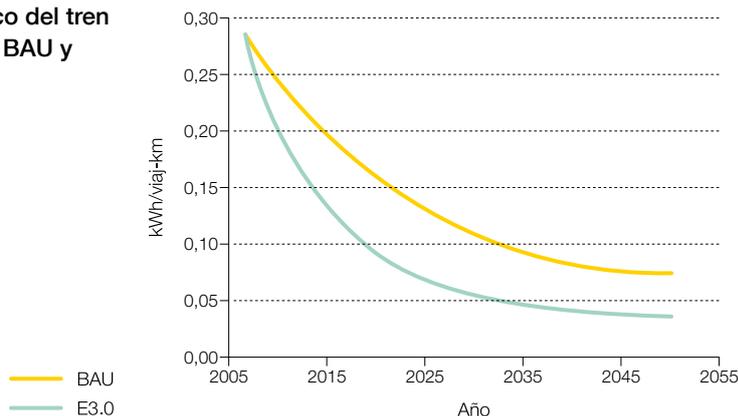


Figura 99 Escenarios de factor de ocupación del tren para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 100** Escenarios de consumo específico del tren por unidad de movilidad para los contextos BAU y E3.0.



### 5.3.7 Avión de pasajeros

El avión es el modo de transporte más problemático a la hora de reconvertir el sistema de transporte hacia la sostenibilidad, debido a que su consumo específico es el más elevado, y debido a la falta de alternativas, tanto en opciones de otros modos de menor consumo que puedan cubrir esa demanda de movilidad, como en uso de combustible para operar los aviones.

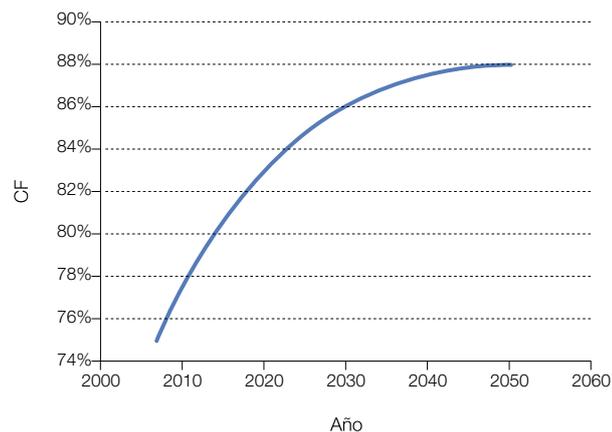
Por lo que respecta al potencial de mejora de los vehículos y sus motorizaciones, los aviones son probablemente el modo de transporte en el que más se ha avanzado por lo que respecta a su eficiencia, aunque quedaría algo de margen para la mejora en aerodinámica y motores, y menos en operación, ya que los aviones comerciales ya vuelan a una velocidad del

orden de la óptima desde el punto de vista del consumo energético.

Por lo que respecta a la ocupación de los aviones, los modelos de negocio actuales de las compañías aéreas ya tienen las señales adecuadas para buscar optimizar su explotación, y los factores de ocupación que se alcanzan ya son de los más elevados que encontramos en los distintos modos de transporte. La única opción de eficiencia con este sector de la demanda de movilidad es reducirla lo más posible, con elementos como la desmaterialización de la economía o la internalización de costes externos.

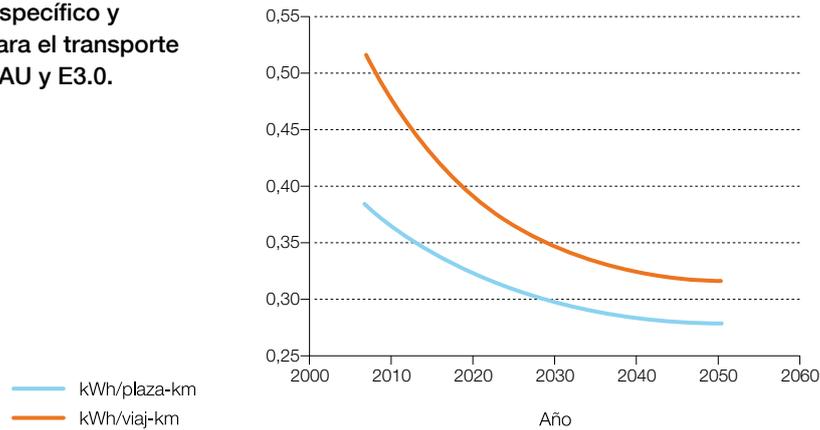
La parte de la demanda asociada al modo aéreo, en un escenario E3.0, tendrá que operar con bioqueroseno o con hidrógeno, ya que la aplicación de la electrificación a este modo de transporte es muy compleja.

**Figura 101** Evolución del factor de ocupación del transporte aéreo de viajeros en los contextos BAU y E3.0. En los dos escenarios se supone la misma evolución de este factor.



## La labor del STI en el contexto E3.0 es optimizar e integrar la infraestructura existente de trenes dentro del sistema de transporte.

Figura 102 Escenarios de consumo específico y consumo por unidad de movilidad para el transporte aéreo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



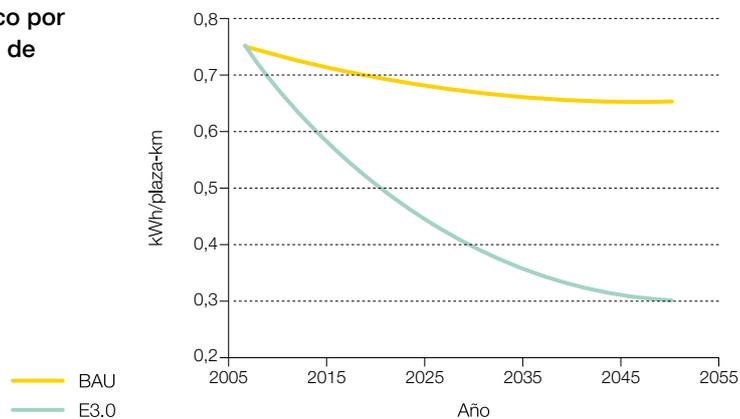
### 5.3.8 Barco (transporte marítimo de viajeros)

En el contexto E3.0 se considera que la parte de la demanda de movilidad que deba cubrirse por mar va a poder cubrirse tan solo con biocombustibles o hidrógeno, incluidos aportes renovables locales (como el apoyo eólico con velas de altura de guiado automático) y uso de barcos de menor consumo apoyado por el STI. No

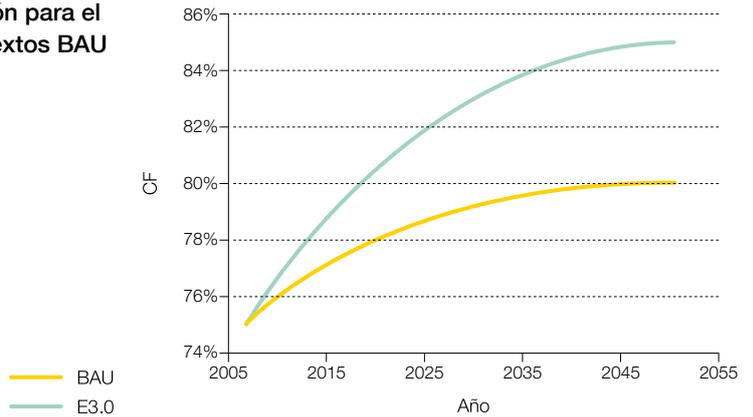
se incluyen otras opciones más futuristas como podría ser un esquema de barcos eléctricos que recargan en electrolineras de centrales marinas de generación con olas y eólica, para mantener la filosofía por la que solo se consideran tecnologías que ya en la actualidad están dotadas de cierta madurez.

Los escenarios se presentan a continuación en las figuras 103, 104 y 105.

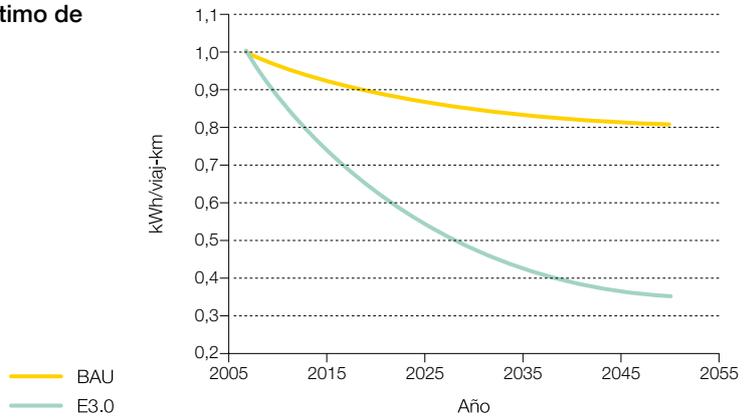
Figura 103 Escenarios de consumo específico por unidad de plaza para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 104** Escenarios de factor de ocupación para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 105** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el transporte marítimo de viajeros en los contextos BAU y E3.0.



### 5.3.9 Furgoneta (transporte urbano de mercancías por carretera)

Para el transporte de mercancías en entorno urbano se consideran furgonetas y camiones ligeros.

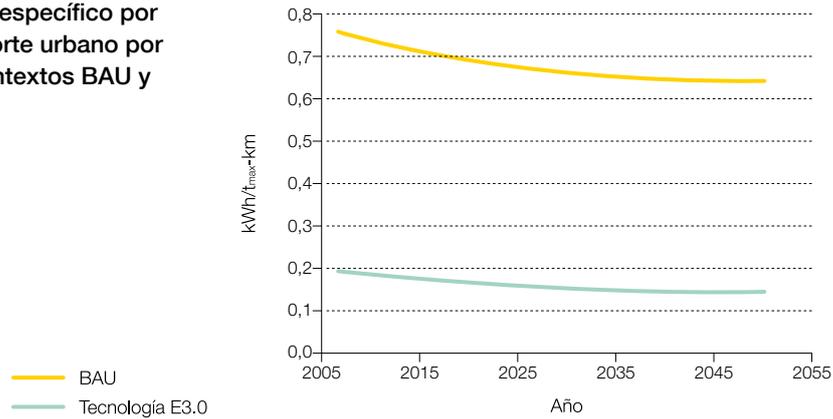
En el contexto BAU se considera que todos los vehículos operan con combustible, es decir, no se considera la

hibridación. En el contexto E3.0 se consideran vehículos eléctricos, operados con elevado CF en el marco del STI.

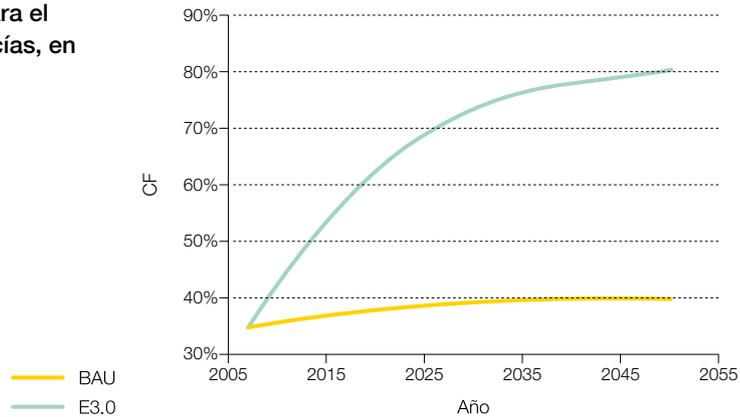
En las figuras 106, 107 y 108 encontramos los escenarios BAU y tecnología E3.0 para el consumo específico por capacidad de carga, el factor de carga y el correspondiente consumo específico por unidad de movilidad.

**En cuanto al transporte de mercancías por carretera, en el contexto E3.0 se plantea un porcentaje creciente de vehículos medianos, que a menudo hacen solo parte de los trayectos hasta llegar a los centros modales, donde se cambia a tren o a camiones grandes.**

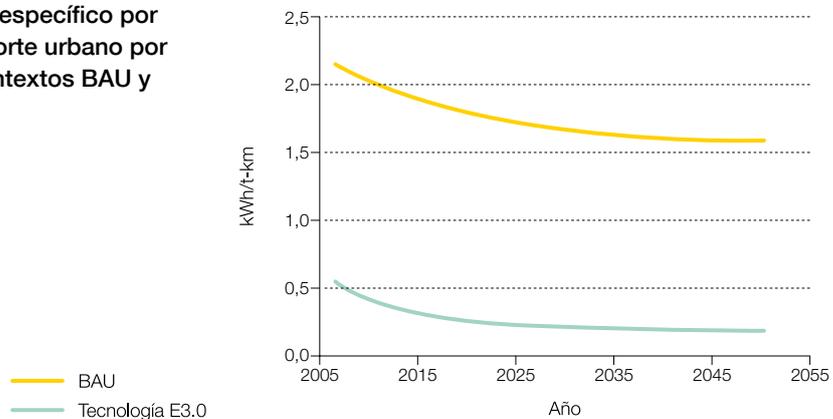
**Figura 106** Escenarios de consumo específico por capacidad de carga para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y tecnología E3.0.



**Figura 107** Escenarios de factor de carga para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 108** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para el transporte urbano por carretera de mercancías, en los contextos BAU y tecnología E3.0.



### 5.3.10 Camión (transporte interurbano de mercancías por carretera)

El transporte de mercancías por carretera es el modo dominante tanto en el contexto BAU como en el E3.0.

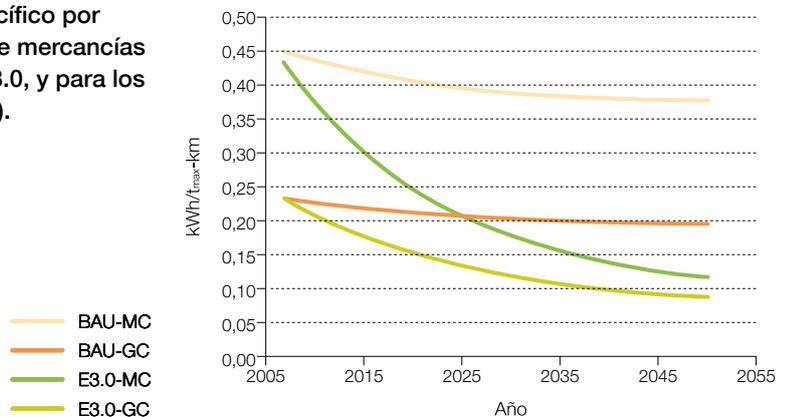
Respecto al consumo de energía de los vehículos, para el contexto BAU se considera que los camiones funcionan exclusivamente con motor de combustión interna (sin electrificación), mientras que para el contexto E3.0 se plantea una hibridación creciente del parque de camiones, entendida a nivel de flota, donde coexisten vehículos con motor de combustión, híbridos, y totalmente eléctricos. Este cambio de motorización permite obtener ingresos adicionales por

participación en el mercado eléctrico ofreciendo servicios complementarios.

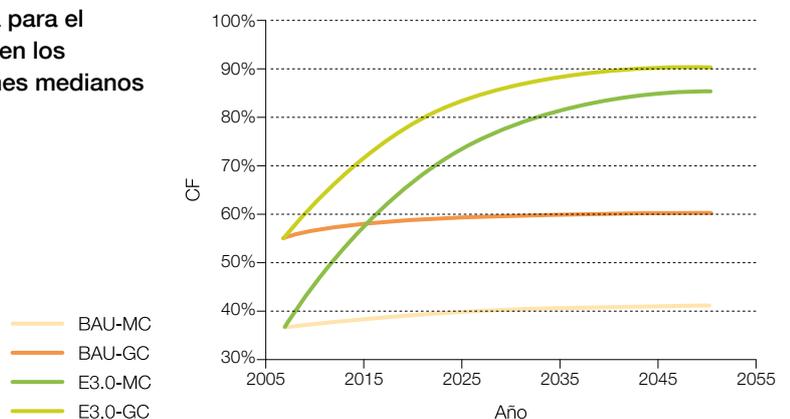
En cuanto a la utilización, dentro del contexto E3.0, se plantea un porcentaje creciente de vehículos medianos, que a menudo hacen solo parte de los trayectos hasta llegar a los centros modales, donde se cambia al tren o a camiones grandes, de tal forma que los desplazamientos de camiones grandes se limitan a las situaciones en las que pueden realizarse con CF elevado. De esta forma, y contando con un STI y un sistema logístico inteligente, la flota de camiones se usa con un factor de carga considerablemente elevado.

En las figuras 109, 110 y 111 se presentan los escenarios.

**Figura 109** 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).

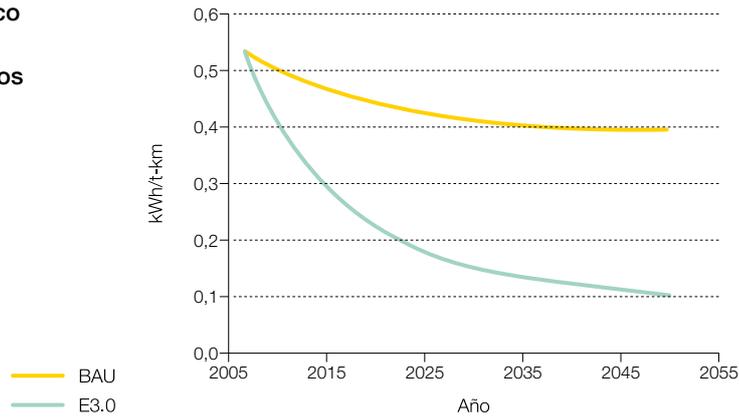


**Figura 110** Escenarios de factor de carga para el transporte de mercancías por carretera, en los contextos BAU y E3.0, y para los camiones medianos (MC) y grandes (GC).



## La mayor ineficiencia del avión de carga está asociada a su uso en corta distancia, donde es susceptible de ser sustituido por otros modos de transporte.

Figura 111 Escenarios de consumo específico ponderado por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por carretera en los contextos BAU y E3.0.



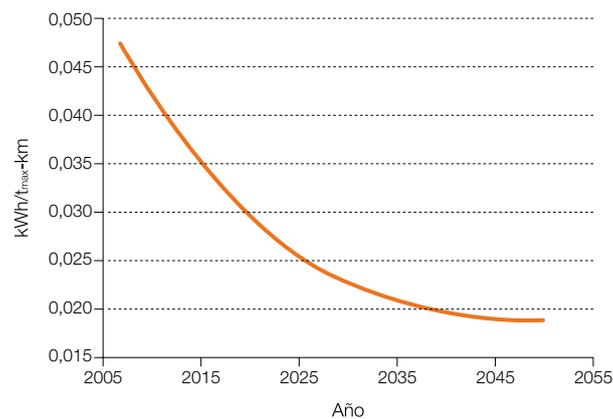
### 5.3.11 Tren de mercancías

En los contextos BAU y E3.0 se asume un escenario común de electrificación de los ferrocarriles. La diferenciación entre ambos contextos proviene de las mayores tasas de mejora del factor de carga para el contexto E3.0 gracias a la integración del ferrocarril en un STI.

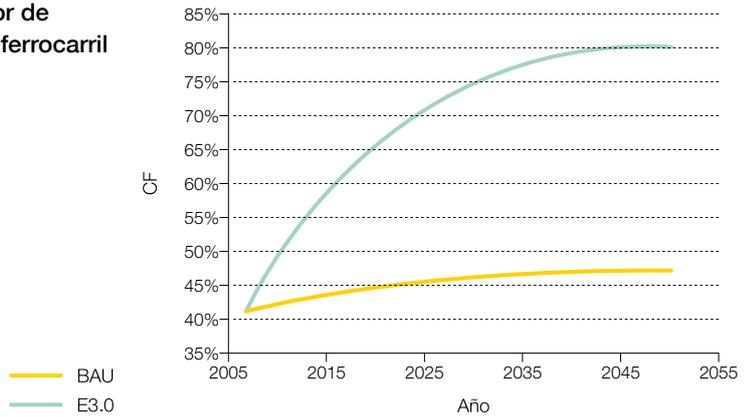
Para el transporte de mercancías el ferrocarril resulta más eficiente que la carretera, incluso en contexto E3.0, debido a la menor electrificación que se asume para el transporte de mercancías por carretera.

En las figuras 112, 113 y 114 se muestran los escenarios de consumo específico a plena carga, evolución de los CF y consumo específico por unidad de movilidad.

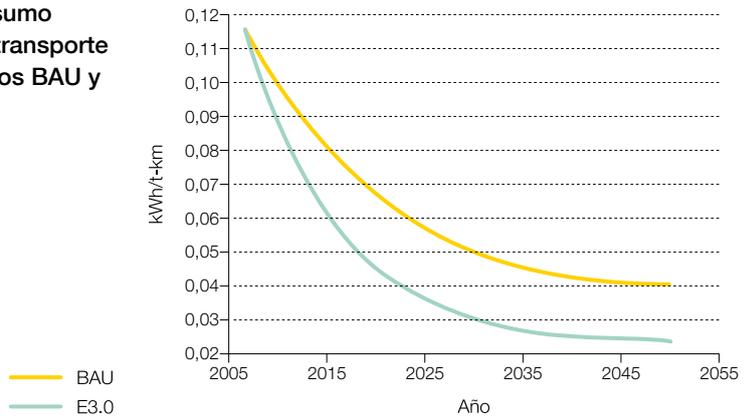
Figura 112 Escenario de evolución del consumo específico a plena carga para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 113** Escenarios de evolución del factor de carga para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 114** Escenarios de evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por ferrocarril en los contextos BAU y E3.0.



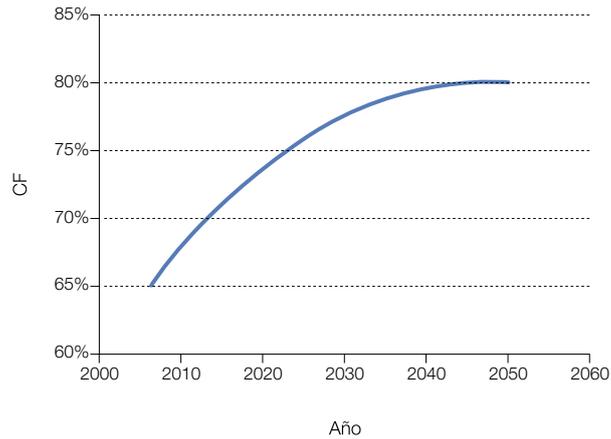
### 5.3.12 Avión de carga

El transporte aéreo de mercancías es problemático ya que, como en el caso de viajeros, es el modo de mayor consumo específico, se encuentra ya altamente optimizado, y no existen opciones de cambio modal que proporcionen las mismas características de movilidad. No obstante, la mayor ineficiencia está asociada al transporte a corta distancia, que es el que sí es susceptible de ser sustituido por otros modos de transporte.

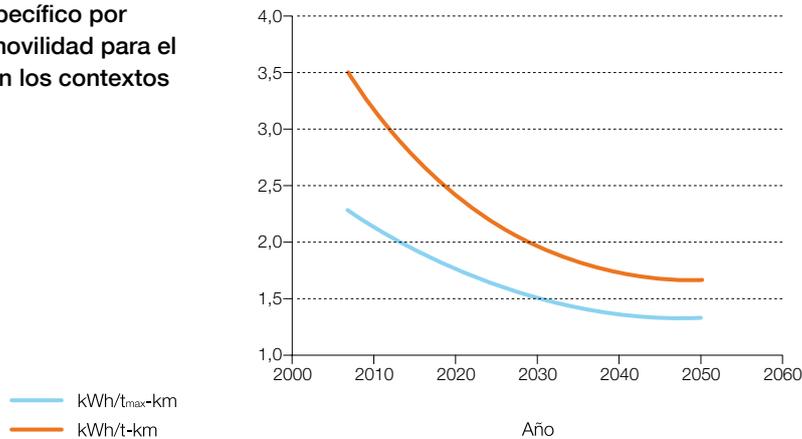
Dada la limitada participación de este modo tanto en el contexto BAU como en el E3.0, se plantea un escenario común para ambos contextos, en el que se consigue una reducción del consumo específico, tanto por mejoras técnicas como por mejoras de tráfico aéreo y por limitar el uso de este modo para los desplazamientos de mayor distancia, y se implementan medidas para incrementar el factor de carga.

En las figuras 115 y 116 se presentan los correspondientes escenarios.

**Figura 115** Escenario de evolución del factor de carga del transporte aéreo de mercancías por avión para los contextos BAU y E3.0.



**Figura 116** 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.



### 5.3.13 Buque de carga (transporte marítimo de mercancías)

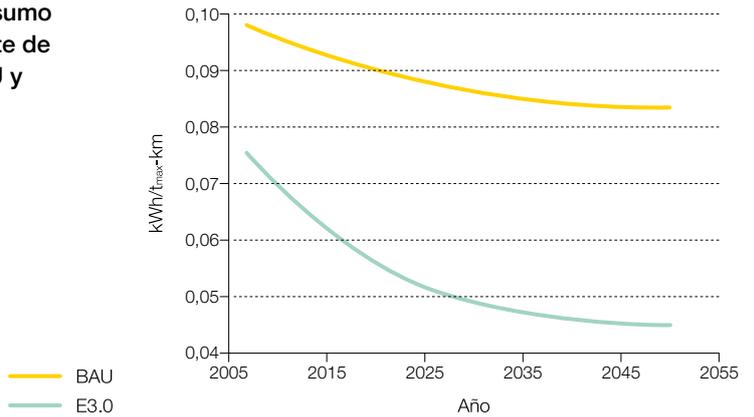
Los dos contextos se diferencian en que para el E3.0 se suponen mayores tasas de eficiencia energética, con escalones respecto al BAU asociados a la introducción de la tracción eólica automatizada con velas de altura, y por acceder gracias al STI a barcos de mayor tamaño, que tienen mucho menor consumo específico. El CF también alcanza valores considerablemente superiores en el contexto E3.0 gracias a la integración en el STI.

Para el transporte marítimo no se plantea electrificación alguna, por lo que resulta otro modo de transporte

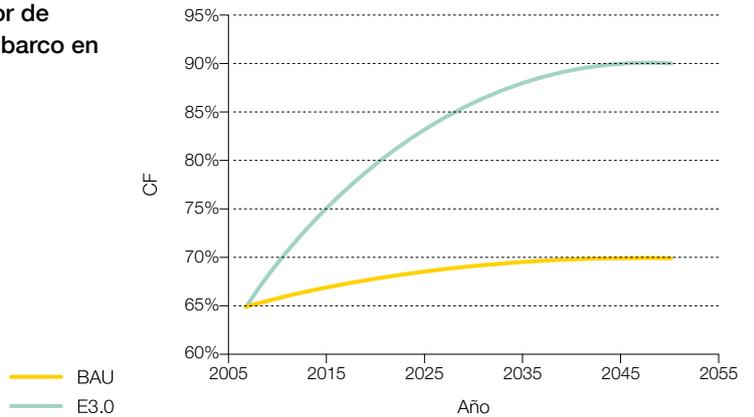
para el cual la biomasa y/o el hidrógeno son las únicas alternativas. Sin embargo, en el marco de un STI sería posible el planteamiento de considerar una red de electrolineras y puntos de recarga marítimos, alimentados con energías renovables locales (olas y eólica), que permitieran electrificar el transporte marítimo internacional.

En las figuras 117, 118 y 119 se muestran los escenarios BAU y E3.0 de consumo específico a máxima carga, factor de carga y consumo específico por unidad de movilidad.

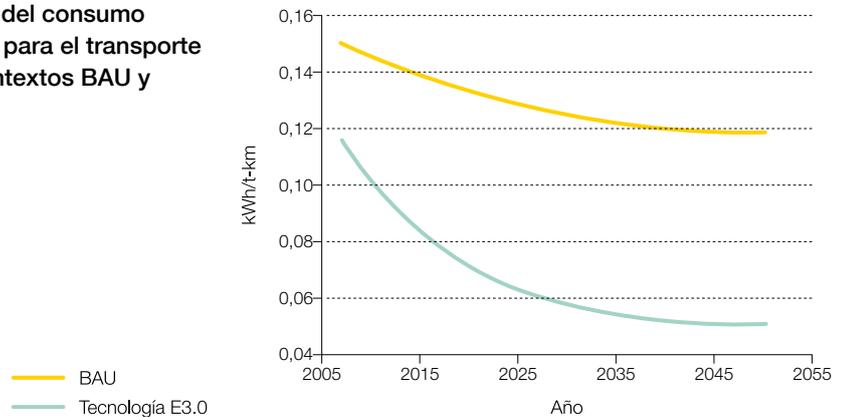
**Figura 117** Escenarios de evolución del consumo específico a máxima carga para el transporte de mercancías por barco en los contextos BAU y tecnología E3.0.



**Figura 118** Escenarios de evolución del factor de carga para el transporte de mercancías por barco en los contextos BAU y E3.0.



**Figura 119** 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.



## Desde el punto de vista del individuo, la opción más eficiente está en elegir los modos colectivos y los no motorizados.

### 5.3.14 Tubería

El consumo de energía del transporte de mercancías líquidas y gaseosas por tubería se ve afectado por el diámetro de la tubería y por la velocidad. Así, al emplear diámetros suficientemente grandes, se puede acceder a valores bajos del consumo específico, mientras que para valores de la velocidad comparables a los 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 proporciona otras alternativas.

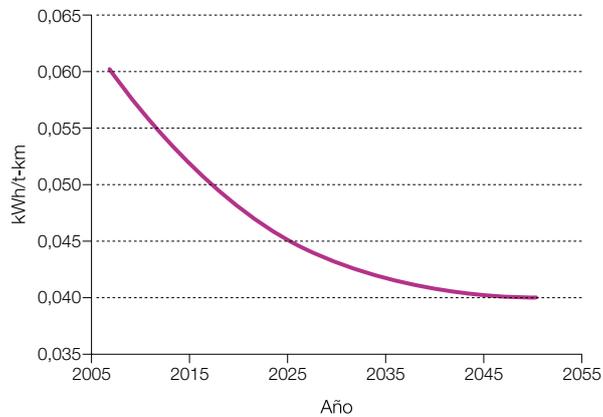
La diferencia entre los dos contextos está en el tipo de mercancías a transportar. Mientras en el BAU lo que se transporta fundamentalmente son productos petrolíferos y gas natural, en el E3.0 estas infraestructuras de transporte serían adecuadas para

transportar combustibles derivados de la biomasa (biocombustibles, biogás, gas de gasógeno, etc.), con lo que desempeñarían un papel parecido al que hacen en la actualidad.

Pero en cuanto al consumo de energía se establece un único escenario del transporte por tubería para los contextos BAU y E3.0, que plantea una progresiva reducción del consumo específico por unidad de movilidad, debido a: reducción de la rugosidad de las tuberías (materiales), aumento del diámetro de las tuberías, mejora del rendimiento de bombeo, reducción de la velocidad de circulación y diferente reparto líquido/gas.

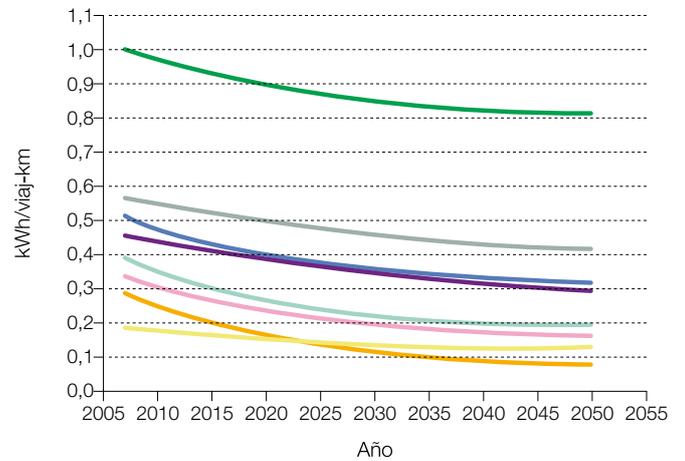
En la figura 120 se presenta el escenario asumido para la evolución del consumo específico por unidad de movilidad.

**Figura 120** Escenario de evolución del consumo específico por unidad de movilidad para el transporte de mercancías por tubería en los contextos BAU y E3.0.



### 5.3.15 Comparativa de consumos específicos de los distintos modos de transporte de viajeros

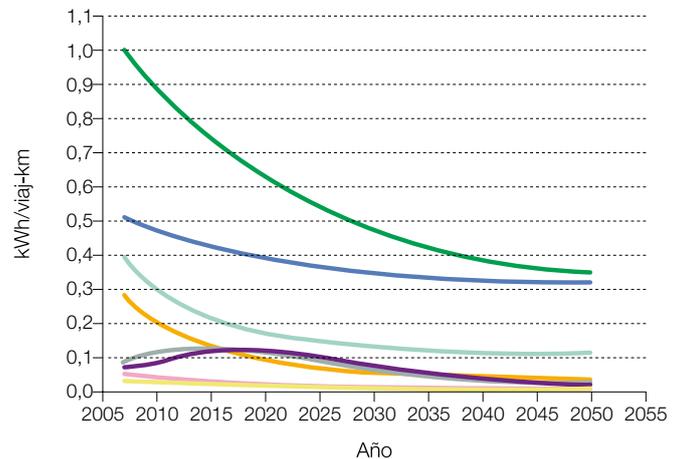
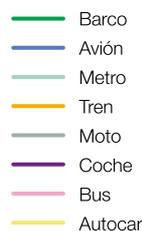
**Figura 121** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de viajeros en el contexto BAU.



Como muestra la figura 121, en el contexto BAU los modos más dominantes (carretera y avión) son también los de mayor consumo específico (exceptuando el modo marítimo, que afortunadamente tiene un bajo peso en el reparto modal). Dado que el potencial de mejora de estos modos dominantes es muy limitado, las opciones para intentar reducir el impacto energético del sector transporte en el contexto BAU 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). En cualquier caso, desde el punto de vista del individuo, la opción más eficiente está en elegir los modos colectivos y los no motorizados.

**Figura 122** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de viajeros en la tecnología E3.0.



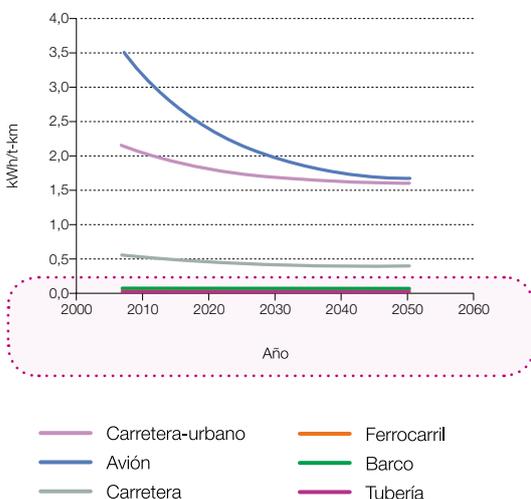
En el contexto E3.0, uno de los componentes principales del transporte por carretera colectivo en el marco del STI es lo que en el contexto BAU denominábamos transporte por carretera particular (coches y motos), que ha reducido su consumo específico a valores del orden de los modos de transporte más eficientes (gracias a la electrificación y al incremento en el CF que permite el STI). Por tanto, 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. Frente al enfoque convencional de pretender potenciar un cambio modal hacia otros modos más eficientes, en el contexto E3.0 se reconvierten 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 este mismo contexto el modo de transporte más problemático que permanece es el aéreo, por lo que uno de los objetivos fundamentales es limitar al mínimo el uso del avión, y traspasar hacia el ferrocarril los desplazamientos interurbanos nacionales, en los que el ferrocarril puede ofrecer un servicio comparable, e incluso mejor que el modo aéreo.

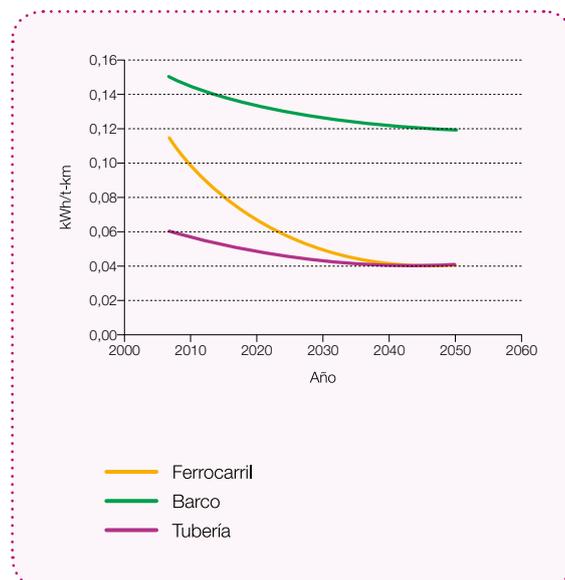
### 5.3.16 Comparativa de consumos específicos de los distintos modos de transporte de mercancías

Como muestran las figuras 123 y 124, en el contexto BAU el modo avión presenta 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 del resto de modos. 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.

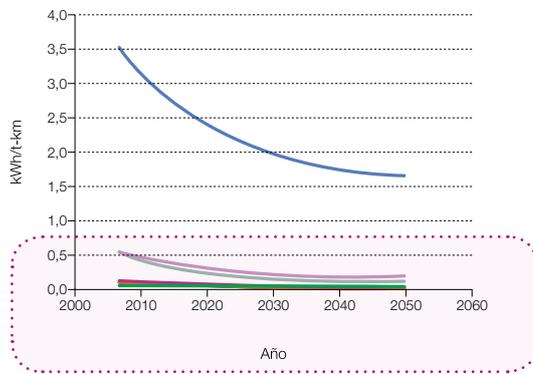
**Figura 123** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de mercancías en el contexto BAU.



**Figura 124** 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.

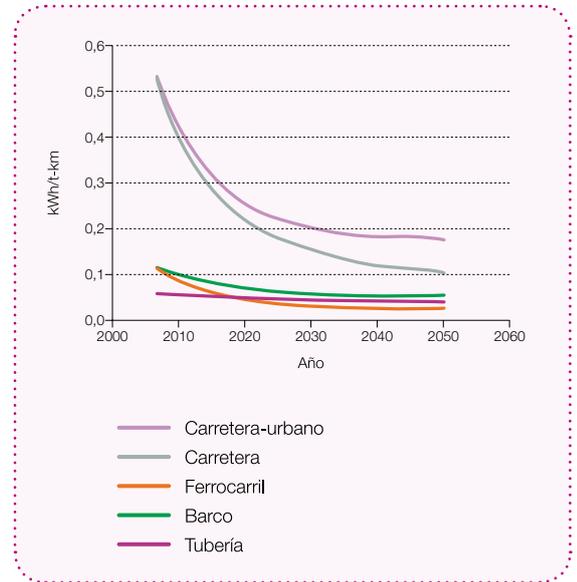


**Figura 125** Escenarios de consumo específico por unidad de movilidad para los distintos modos de transporte de mercancías de la tecnología E3.0.



— Carretera-urbano — Ferrocarril  
— Avión — Barco  
— Carretera — Tubería

**Figura 126** 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).



— Carretera-urbano  
— Carretera  
— Ferrocarril  
— Barco  
— Tubería

En el contexto E3.0, figuras 125 y 126, el principal cambio es que el consumo específico de los modos de transporte por carretera se consigue acotar de forma significativa, y se acerca a valores del orden 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).

**En el contexto E3.0, coches, motos y autobuses son 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.**

## 5.4

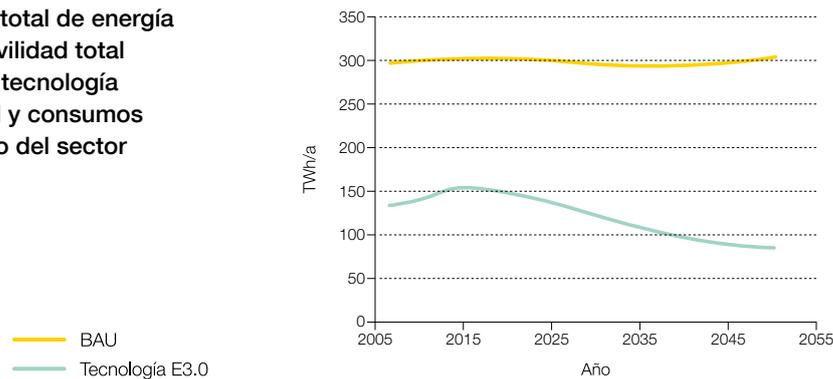
### Escenarios de demanda energética total

En este punto se unen los escenarios de demanda de movilidad, reparto modal y consumo específico modal, para configurar los escenarios de demanda energética total del sector transporte.

#### 5.4.1 Viajeros

Con los resultados de los capítulos anteriores en cuanto a demanda de movilidad y consumos específicos, se obtienen los escenarios resultantes de demanda de energía para cubrir la demanda total de movilidad de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0. Se observa cómo al final del escenario la demanda de energía de la tecnología E3.0 es del orden de un tercio de la BAU:

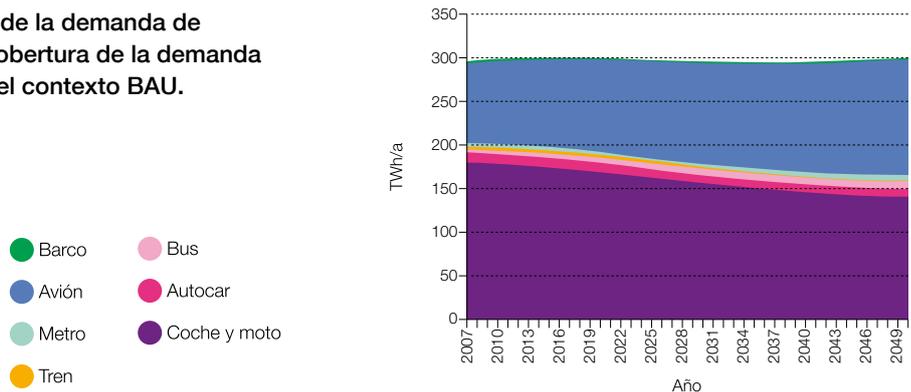
**Figura 127** Escenarios de demanda total de energía final para cubrir la demanda de movilidad total de viajeros en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



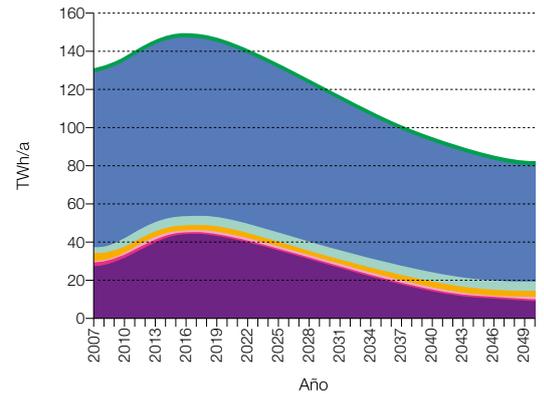
A continuación en la figura 128 se presenta la participación de cada modo de transporte en esta demanda energética. En el contexto BAU se ve cómo la demanda de energía está dominada por los modos coche y avión. El avión incrementa el consumo energético a lo largo del tiempo y el coche lo reduce, para llegar al final del escenario con valores del mismo

orden. 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.

**Figura 128** Estructura modal de la demanda de energía final asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de viajeros en el contexto BAU.



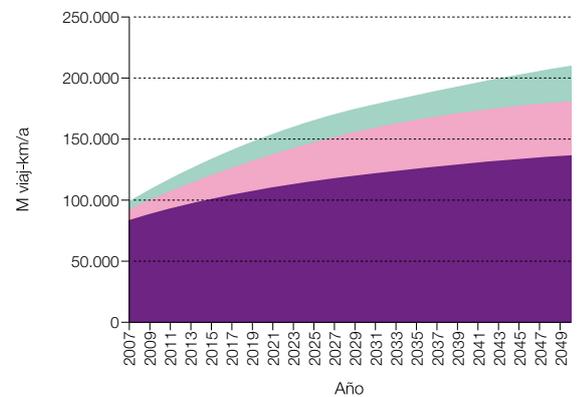
**Figura 129** Estructura modal de la demanda de energía asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de viajeros en el contexto E3.0.



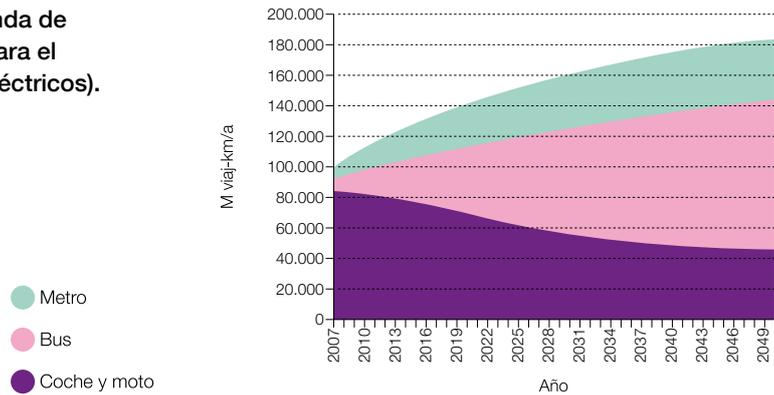
La anterior demanda se puede desagregar entre urbana e interurbana, así como entre aquella que se demanda en forma de electricidad y la que es en forma de un combustible. La tecnología E3.0, con su decidido impulso a la electrificación del transporte, demanda más electricidad, especialmente al inicio del escenario, debido al incremento de demanda de prestaciones de los vehículos eléctricos al principio de su introducción, mientras que, 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.

Por último, se muestra la participación de cada modo en la demanda de movilidad. En primer lugar, por lo que respecta a la movilidad urbana, vemos que es creciente a lo largo de todo el periodo considerado (aunque con tasas decrecientes), tanto en los contextos BAU como E3.0; sin embargo, así como en el contexto BAU el modo dominante es el coche, que además opera a partir de 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.

**Figura 130** Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta urbana de viajeros para el contexto BAU.



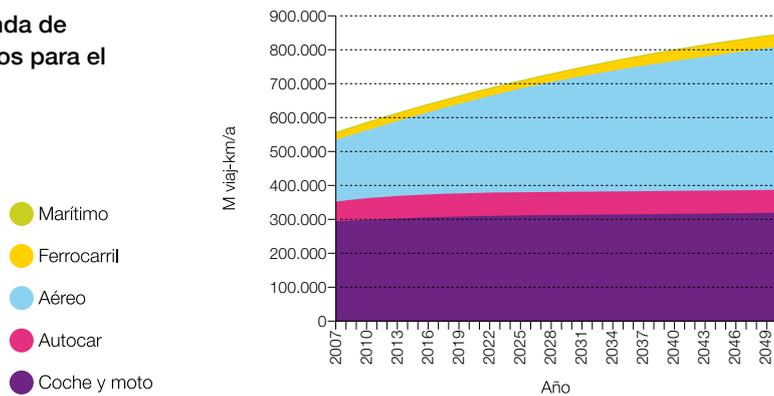
**Figura 131** Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta urbana de viajeros para el contexto E3.0 (coche, moto y bus son eléctricos).



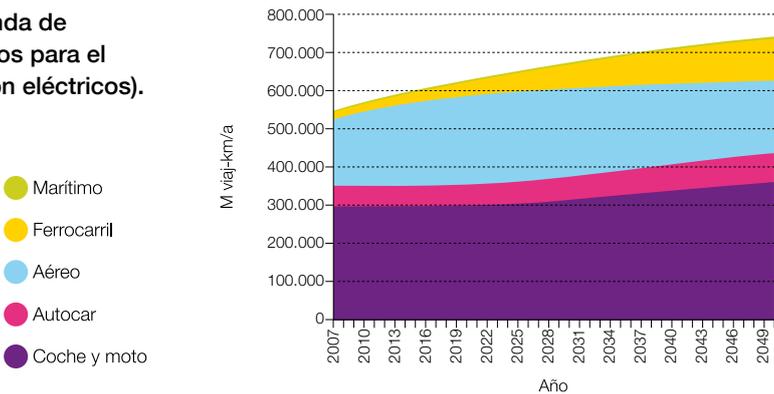
Por lo que respecta a la demanda interurbana de movilidad, el contexto BAU se encuentra caracterizado por una participación creciente del modo aéreo, que acaba siendo el dominante, con el modo carretera en segundo lugar, que cubre una cantidad aproximadamente

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.

**Figura 132** Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta interurbana de viajeros para el contexto BAU.



**Figura 133** Estructura modal de la demanda de movilidad absoluta interurbana de viajeros para el contexto E3.0 (coche, moto y autocar son eléctricos).

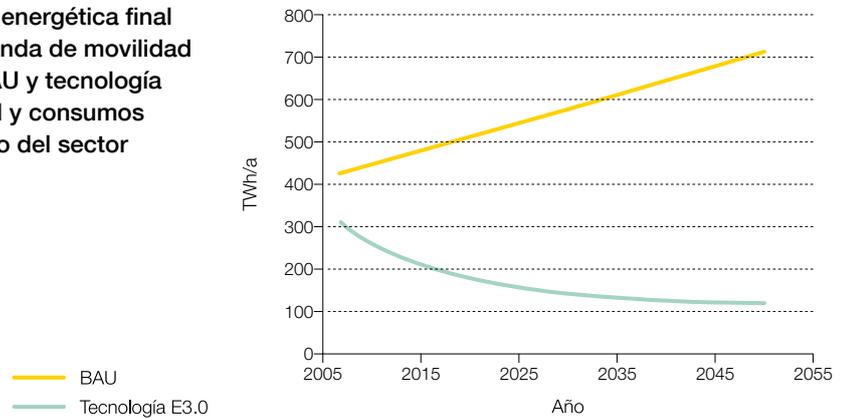


### 5.4.2 Mercancías

Como en el caso de pasajeros, se obtienen 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. 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 que tiende a la estabilización al final del escenario.

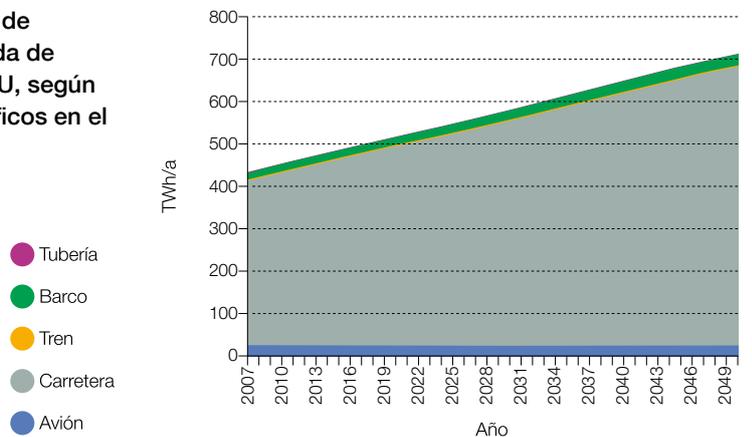
**Figura 134 Escenarios de demanda energética final asociada a la cobertura de la demanda de movilidad de mercancías en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.**



Esta demanda de energía se muestra en las figuras 135 y 136 desagregada por modos de transporte, en los contextos BAU y E3.0. En ambos casos, el modo carretera es el dominante en dicha demanda de energía, pero en el contexto E3.0 se obtiene una importante

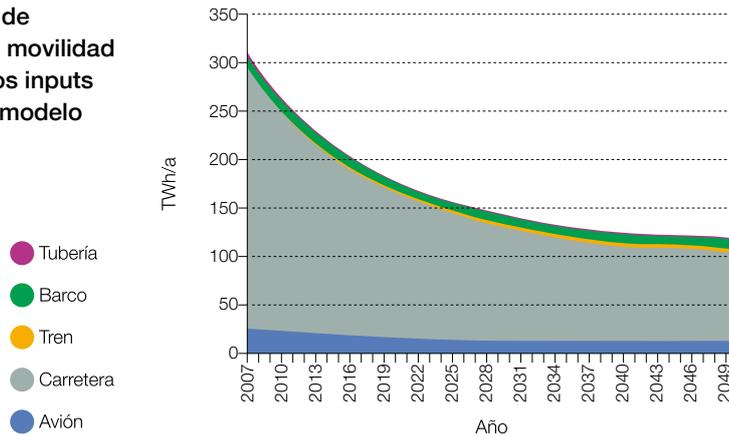
contracción de la demanda de energía de este modo, que es la principal responsable de la contracción total en la demanda de energía para movilidad de mercancías, y todo ello a pesar de la limitada contracción de la demanda de movilidad.

**Figura 135 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.**



**El cambio en escalón dentro del sector de transporte que permite abandonar la senda actual de un consumo sectorial galopante, para establecerse en el contexto E3.0, se apoya fundamentalmente en el despliegue de inteligencia (STI) y en la electrificación.**

**Figura 136** 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.

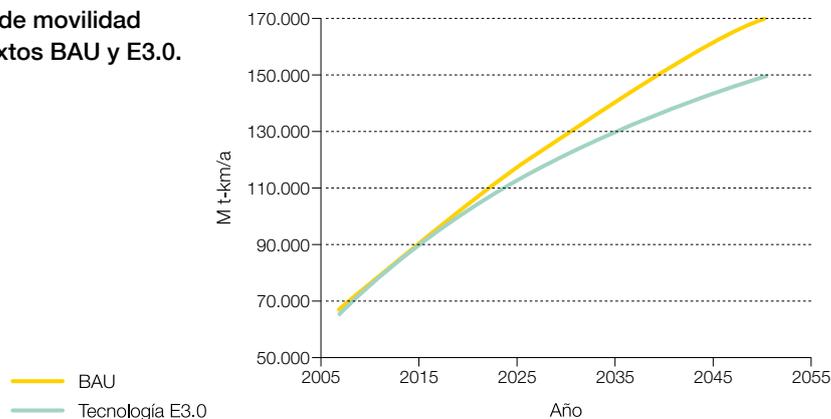


Si se desagrega esta demanda de energía en términos de energía eléctrica y combustible, en el contexto BAU, se encuentra que la demanda de energía en forma de combustible para cubrir la demanda de movilidad de mercancías llega a superar a finales del escenario los 713 TWh/a, una cantidad muy superior al recurso total de biomasa disponible, lo cual constituye una clara indicación de la insostenibilidad del contexto BAU. En el contexto E3.0 se produce un gran incremento del consumo de electricidad para la cobertura de esta

demanda de movilidad, asociado a una electrificación que pasa de ser inferior al 1% a alcanzar el 50% (en términos de energía final).

Por último, en la figura 137 se muestra la demanda de movilidad absoluta de mercancías, tanto urbana como interurbana. La demanda de movilidad de mercancías urbana se encuentra totalmente cubierta por el modo carretera. Tanto en los contextos BAU como E3.0 se mantienen tasas de crecimiento positivas (aunque decrecientes) a lo largo del escenario, sin alcanzar una saturación.

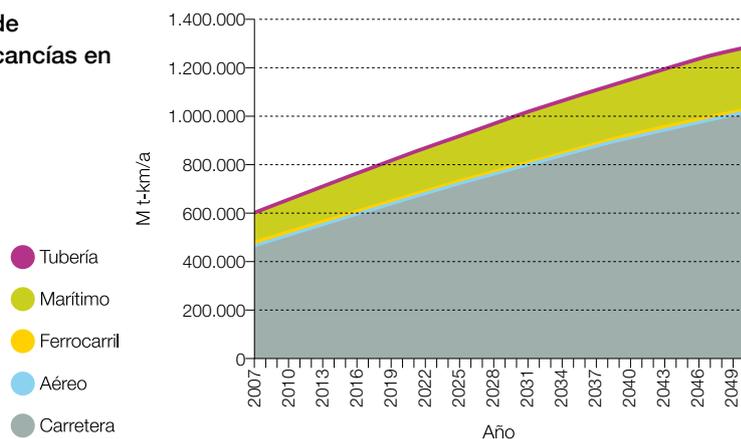
**Figura 137** Escenarios de demanda de movilidad urbana de mercancías en los contextos BAU y E3.0.



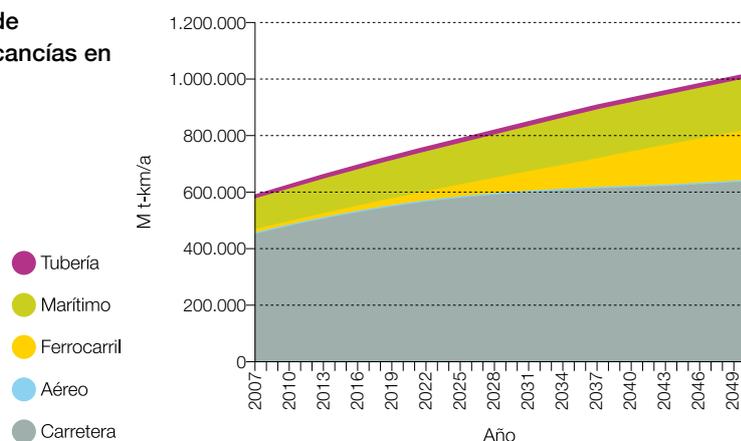
En cuanto a la demanda de movilidad interurbana de mercancías, se comprueba en las figuras 138 y 139 que en ambos escenarios está dominada por el transporte

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

**Figura 138 Estructura modal del escenario de demanda de movilidad interurbana de mercancías en el contexto BAU.**



**Figura 139 Estructura modal del escenario de demanda de movilidad interurbana de mercancías en el contexto E3.0.**



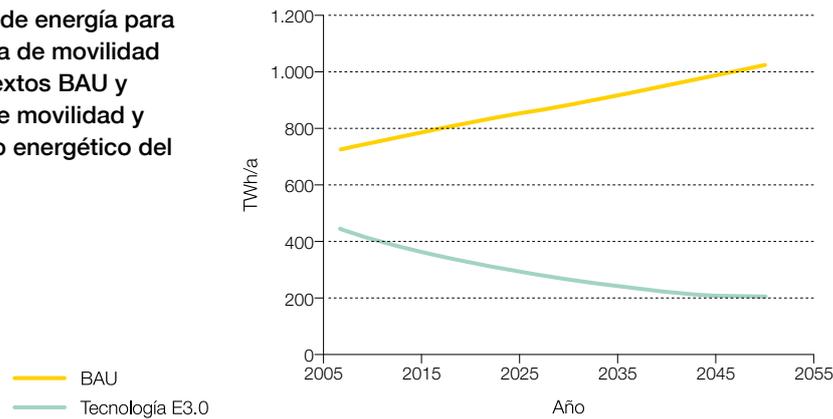
### 5.4.3 Total

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

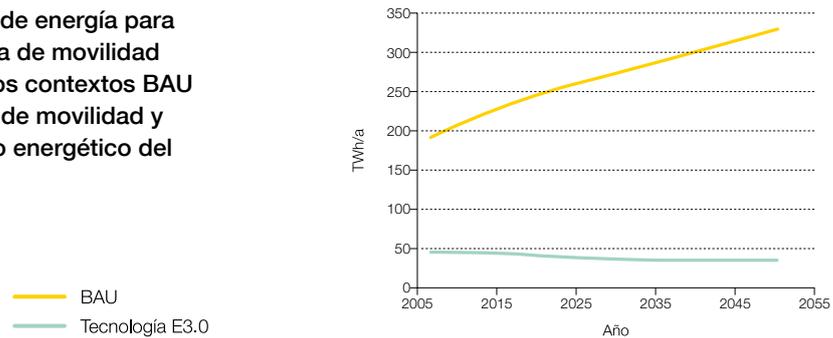
Como muestra la figura 140, el contexto BAU conduce a un escenario tendencial con tasas de crecimiento prácticamente constantes a lo largo de todo el periodo analizado, lo que resulta en una demanda de energía final para los últimos años del periodo considerado por encima de los 1.000 TWh/a. Una conclusión evidente de esto es que resulta imprescindible trascender los planteamientos BAU y colocarse en la línea de los escenarios E3.0, para evitar llegar a demandas energéticas tan elevadas.

El cambio en escalón dentro del sector transporte que permite abandonar la senda actual de un consumo sectorial galopante para establecerse en el contexto E3.0, se apoya fundamentalmente en dos elementos: el despliegue de inteligencia (sistema de transporte inteligente), y la electrificación. 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 permiten acceder a un escenario de contracción energética continua en todo el periodo considerado, que tiende hacia la estabilización al final del escenario, que llega a una demanda de energía final que es un 20 % de la del escenario BAU. Con todo, una demanda del orden de 200 TWh/a sigue siendo una cantidad importante de energía.

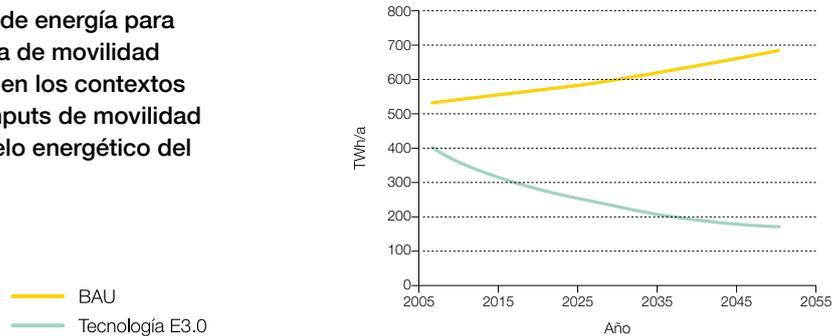
**Figura 140** Escenarios de demanda de energía para la cobertura del total de la demanda de movilidad (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.



**Figura 141** 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.



**Figura 142** 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.



La desagregación de esta demanda total de energía del sector transporte entre los ámbitos urbano e interurbano muestra que, es especialmente en el ámbito interurbano, donde el contexto E3.0 permite acceder al escenario global de contracción mantenida.

En cuanto a la desagregación entre demanda eléctrica y demanda en forma de combustible, el contexto E3.0, con una electrificación que se incrementa del 2% al 39% (en

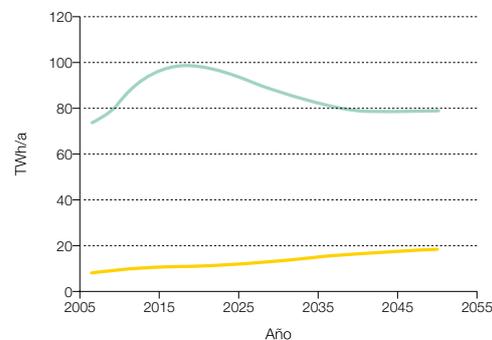
términos de energía final), domina en cuanto a demanda eléctrica, con un pico interior en torno al año 2018 que supera los 100 TWh/a (algo superior a la tercera parte de la demanda eléctrica actual sobre el sistema eléctrico), para posteriormente estabilizarse en valores del orden de los 80 TWh/a. Los escenarios de demanda de energía en forma de combustible para el caso BAU conducen a una demanda del orden de los 1.000 TWh/a hacia el final del escenario y sin ningún signo de estabilización; esta

demanda de combustibles en el contexto BAU es del orden del 350% de los biocombustibles que se podrían generar al explotar el máximo potencial de la biomasa en nuestro país. Para el contexto E3.0, la situación es considerablemente más favorable, a pesar de lo cual,

al final del escenario todavía se requeriría explotar más del 42% del máximo potencial de la biomasa en nuestro país. Esto recomienda evitar en la medida de lo posible el uso de la biomasa para cubrir la demanda energética de los otros sectores (edificación e industria).

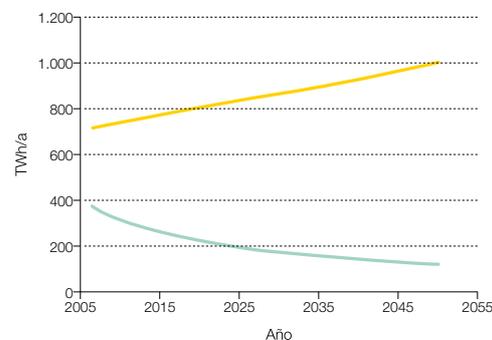
**Figura 143** Escenarios de demanda de energía eléctrica para la cobertura del total de la demanda de movilidad (viajeros y mercancías) en los contextos BAU y tecnología E3.0, según los inputs de movilidad y consumos específicos en el modelo energético del sector transporte.

— BAU  
— Tecnología E3.0



**Figura 144** 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.

— BAU  
— Tecnología E3.0



Por último, en las figuras 145 y 146 se muestra la desagregación por modos de los escenarios de demanda energética total (viajeros y mercancías) del sector transporte en los contextos BAU y tecnología E3.0.

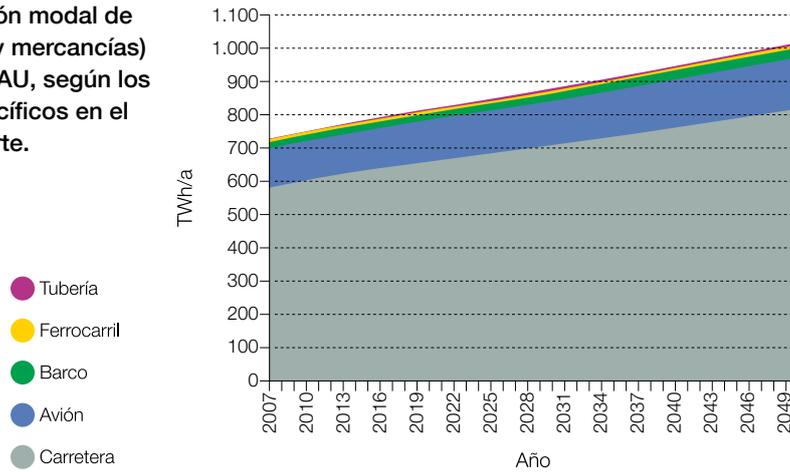
En ambos contextos la demanda dominante es la debida al transporte por carretera, si bien en el contexto E3.0 se consigue contraer significativamente esta demanda, de tal forma que hacia el final del escenario, aunque sigue siendo la mayor demanda modal, ya es del mismo orden de magnitud que la correspondiente al modo aéreo. 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.

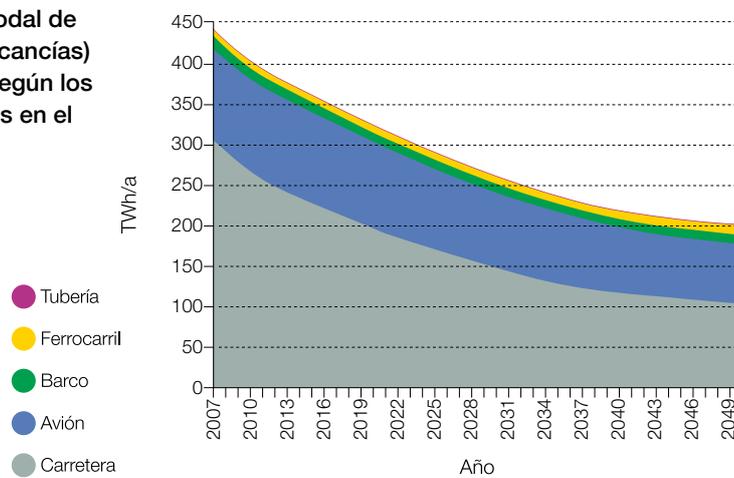
El modo aéreo es el segundo en importancia en términos de demanda energética para ambos contextos. En el contexto E3.0 se consigue contraer gradualmente la demanda energética de este modo a lo largo del escenario, si bien su contracción es mucho más limitada que la alcanzada en el modo carretera, debido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

**En el contexto E3.0, la demanda de energía final total del sector transporte es un 20% de la del escenario BAU.**

**Figura 145** 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 146** 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.



## 5.5

### Escenarios de transición

Como en los demás sectores, se consideran tres escenarios de transición al contexto E3.0:

- Un escenario que se denomina retardado, en el cual se sigue retrasando la adopción de medidas
- Un escenario que se denomina responsable, en el cual se acelera durante los primeros años la introducción

efectivas de cambio en nuestro país durante otros 30 años.

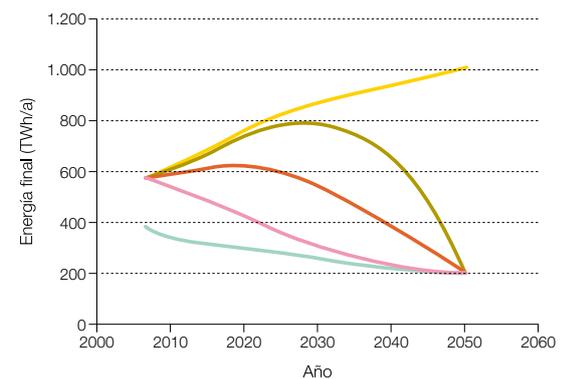
- Un escenario que se denomina lineal, en el cual se realiza una introducción progresiva del contexto E3.0 a tasas constantes a lo largo de todo el periodo de tiempo considerado.

del contexto E3.0. A este escenario se le denomina responsable por ser el escenario más consecuente con los requerimientos del sistema climático de los tres analizados.

Tras realizar un proceso de calibrado de los datos obtenidos para cada escenario, con el fin tener en cuenta las discrepancias entre los datos procedentes de distintas fuentes, en especial los referidos a la internalización del déficit de la demanda de movilidad, se presentan

los resultados correspondientes al modelo calibrado para los escenarios de demanda de energía total, junto con los tres escenarios de transición considerados. Se observa que 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 periodo analizado: cuanto más se retrase el afrontar el problema de forma decidida, más difícil va a resultar resolverlo.

**Figura 147 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.**



Por último, se muestra el efecto acumulado de cada uno de los escenarios sobre la demanda de energía del sector transporte. Si se toma como referencia la demanda acumulada del escenario *retardado*, el escenario *responsable* conduce a una 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 entre 654 TWh/a, en el *lineal* de 496 TWh/a y en el *responsable* de 349 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, se concluye que el potencial de ahorro energético asociado a un despliegue responsable del contexto E3.0 es muy elevado.

**Figura 148 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.**

