



INFORME - marzo de 2026

A toda máquina

Un estudio sobre el potencial de electrificación de los ferris en Europa

T&E

Publicado en: marzo de 2026

Autores: Felix Klann, Leo Tricaud

Modelización: Valentin Simon, Leo Tricaud. Revisado por Alex Springer.

Editor: William Todts, director ejecutivo

© 2026 European Federation for Transport and Environment AISBL

Cómo citar este informe

A toda máquina. Un estudio sobre el potencial de electrificación de los ferris en Europa

Más información:

Felix Klann

Responsable de Políticas de Transporte Marítimo

T&E

felix.klann@transportenvironment.org

Móvil: +32 (0) 492 57 22 65

www.transportenvironment.org | [BlueSky](#) | [LinkedIn](#)

Agradecimientos

Las conclusiones y opiniones que se exponen en esta publicación son responsabilidad exclusiva de los autores anteriormente citados.



Índice

Resumen ejecutivo	5
Apartado 1	8
1. Situación actual de la flota europea de ferris	8
1.1 Características de la flota	8
1.2 Distribución geográfica	10
1.3. Relevancia medioambiental	11
1.4 Normativa	11
1.4.1 A nivel global/OMI	11
1.4.2 A nivel de la UE	12
Apartado 2	15
2. Tráfico y emisiones de los ferris	15
2.1 Resumen sobre la metodología	15
2.2 Tráfico total y emisiones de GEI	15
2.3 Tráfico y emisiones de GEI a nivel de ruta	16
2.4 Tráfico y emisiones de GEI a nivel de país	16
2.5 Tráfico y emisiones de GEI a nivel de puerto	18
2.6 Contaminación atmosférica total en las proximidades de los puertos europeos	19
2.7 Contaminación atmosférica a nivel de puerto	19
Apartado 3	21
3. Evaluación técnica y económica de las tecnologías de descarbonización	21
3.1 Resumen sobre la metodología	22
3.2 Evaluación de los ferris eléctricos de batería	23
3.2.1 Selección de buques	23
3.2.2 Viabilidad técnica y rentabilidad de la flota	23
3.2.3 Análisis de viabilidad técnica	24
3.2.4 Viabilidad técnica y rentabilidad por país	26
3.2.5 Ahorro de costes y reducción de CO2	28
3.2.6 Análisis de sensibilidad para los ferris eléctricos de batería rentables	28
3.2.7 Requisitos de potencia eléctrica en los puertos	29
3.2.8 Mejora de los parámetros de las baterías	30
3.3 Evaluación de los ferris eléctricos híbridos	31
3.3.1 Selección de buques	31
3.3.2 Viabilidad técnica y rentabilidad de la flota	32
3.3.3 Viabilidad técnica y rentabilidad por país	33
3.3.4 Ahorro de costes y reducción de CO2	33
3.3.5 Análisis de sensibilidad	34
3.3.6 Requisitos de potencia eléctrica en los puertos	34
3.4 Evaluación de electrocombustibles y biocombustibles	35
3.4.1 Viabilidad técnica	35
3.4.2 Viabilidad económica	36

3.4.3 Análisis de sensibilidad	37
3.4.4 Comparación entre tecnologías	37
Apartado 4	39
4. Conclusiones y recomendaciones	39

Resumen ejecutivo

De aquí a 2035, más de la mitad de los ferris de la Unión Europea podrían electrificarse y ser competitivos en términos de costes frente a los propulsados por combustibles fósiles.

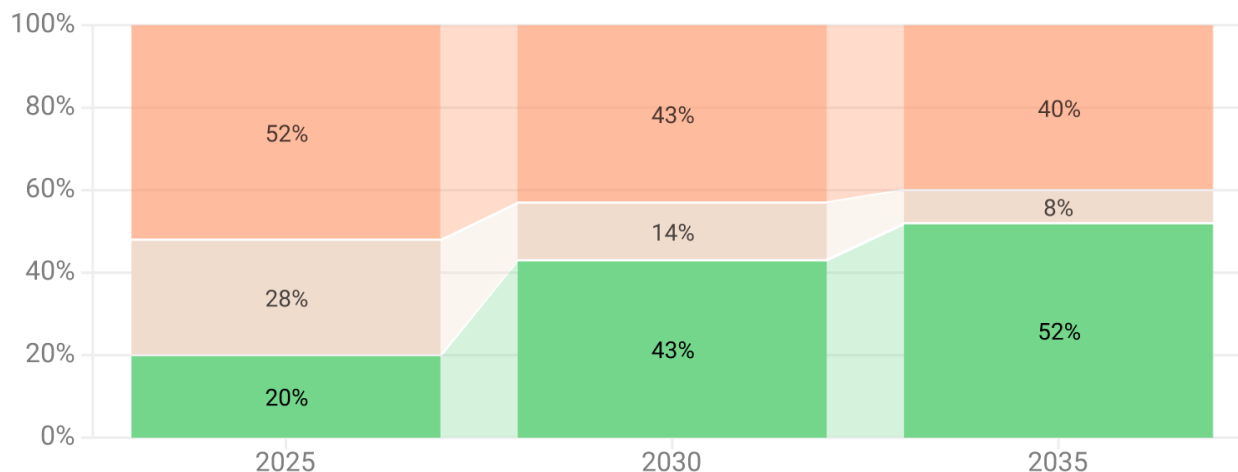
Los ferris constituyen un elemento clave en el sistema de transportes de la UE, tanto para el transporte de personas y mercancías como para prestar servicios básicos a regiones alejadas. Sin embargo, la envejecida flota del sector, compuesta por casi 2000 buques, pasa más del 60% del tiempo total de operación a menos de 5 millas náuticas de zonas portuarias densamente pobladas, lo que contribuye de forma significativa a la contaminación atmosférica costera y genera 15,3 Mt de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Mientras que a muchos otros tipos de embarcaciones de navegación oceánica solo les quedará recurrir a combustibles sostenibles, el menor tamaño de los ferris y la previsibilidad de sus rutas hacen que la electrificación pueda plantearse como una alternativa competitiva:

- **El 52% de los ferris que ya existen podrían ser totalmente eléctricos en 2035.**
- **En 2025, este cambio podría suponer ya un ahorro frente a los combustibles fósiles para el 20% de la flota.**
- **Los ferris convencionales contaminan la atmósfera entre 15 y 100 veces más que los automóviles en las proximidades de grandes ciudades costeras como Dublín, Belfast, El Pireo o Las Palmas.**
- **Los requisitos para la infraestructura de recarga representan el principal obstáculo para la adopción, aunque el 57% de los puertos solo necesitará cargadores de menor potencia, por debajo de 5 MW, para una demanda inferior a 5 GWh.**

La mitad de los ferris europeos ya podría electrificarse con la actual tecnología de baterías

Técnica y económicamente viables Solo técnicamente viables No viables

Proporción de buques



Fuente: T&E (2025). Año de inicio: 2025, 2030 y 2035 (vida útil de 30 años). Incluye costes de combustible, costes del RCDE y CAPEX de baterías. Se mezcla biocombustible con combustibles fósiles para ajustarse a los objetivos del reglamento FuelEU Maritime • Escenario con impuestos sobre la electricidad

Son más, incluso, los ferris eléctricos que ya podrían ser competitivos. Actualmente, solo la electricidad está sujeta a impuestos nacionales.

El sector de los ferris ha quedado en gran medida al margen de numerosas estrategias industriales y políticas medioambientales de la UE. De hecho, suele depender del apoyo público a escala nacional y regional. Si se abordan los principales obstáculos y se atajan las desventajas regulatorias de forma estratégica, la envejecida flota de ferris europea podría alzarse como sector pionero y acelerador industrial al liderar la adopción de baterías marinas y buques eléctricos fabricados dentro de la UE. T&E ha identificado una serie de iniciativas clave con las que la UE puede apoyar esta transición y asegurar la demanda industrial de baterías marinas:

- Ampliar el Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE) y el Reglamento FuelEU Maritime (FEUM) para que se hagan extensivos a todos los buques de arqueo bruto (GT, en inglés) de 400 toneladas o más, con el fin de cubrir la mayor parte de las rutas de ferris e impulsar la electrificación en, al menos, un 8% adicional.
- Ampliar el Reglamento sobre infraestructuras para combustibles alternativos (AFIR) más allá de las obligaciones relativas a la conexión eléctrica en puerto, con el fin de

garantizar una infraestructura de recarga suficiente en los principales puertos de ferris.

- Revisar las normas de contratación pública y licitaciones de la UE para garantizar un uso sostenible de los recursos públicos en los procedimientos de contratación y que contemplen criterios de cero emisiones y favorezcan componentes fabricados en Europa.
- Incorporar la producción de baterías marinas al objetivo estratégico de aumentar la capacidad europea de fabricación de baterías, en particular a través de la Estrategia industrial marítima de la UE.

Además, los marcos normativos vigentes ya ponen a disposición de los gobiernos nacionales y regionales instrumentos para incentivar o, directamente, exigir la electrificación de rutas clave. A saber:

- Aplicar los principios de la oferta económicamente más ventajosa (MEAT, en inglés) y de compra y contratación pública verde (CCPV) para incorporar criterios de cualificación de cero emisiones en las políticas de contratación pública de nivel nacional y local (como ya lo hacen algunos Estados miembros, como Dinamarca o España).
- Reducir los impuestos nacionales de energía sobre la electricidad suministrada a los buques o rebajar las tasas portuarias para los ferris de cero emisiones mediante las opciones temporales previstas en la Directiva sobre fiscalidad de la energía.
- Ampliar las Zonas de Control de Emisiones (ECA, en inglés) a las regiones ultraperiféricas y eliminar las exenciones específicas por ruta.

Apartado 1

1. Situación actual de la flota europea de ferris

La Unión Europea alberga una de las [mayores flotas de ferris del mundo](#), con más de 904 buques Ro-Pax y 1012 embarcaciones de pasajeros, respectivamente el 26 % y el 22 % del total mundial de este tipo de navíos. Se dedica al transporte de personas, vehículos y mercancías entre los puertos de Europa, a menudo con destino directo a zonas turísticas, polos industriales y áreas urbanas densamente pobladas.

Los ferris son clave en la red de transportes europea, pues conectan con el continente islas y regiones periféricas, y en torno a [400 millones de pasajeros](#) al año los utilizan como medio de transporte. No obstante, los buques de pasajeros y Ro-Pax concentran también una proporción significativa de las emisiones del transporte marítimo de la UE. Y, como ocurre con el resto de segmentos del transporte marítimo, el sector de los ferris no puede desentenderse de sus emisiones.

En este informe, estimamos en primer lugar las emisiones de GEI y la contaminación atmosférica en los puertos que son atribuibles a los ferris para presentar después un análisis técnico y económico del potencial de electrificación que reduciría de forma drástica dichas emisiones. Por último, analizamos también las políticas e incentivos que harían esto posible.

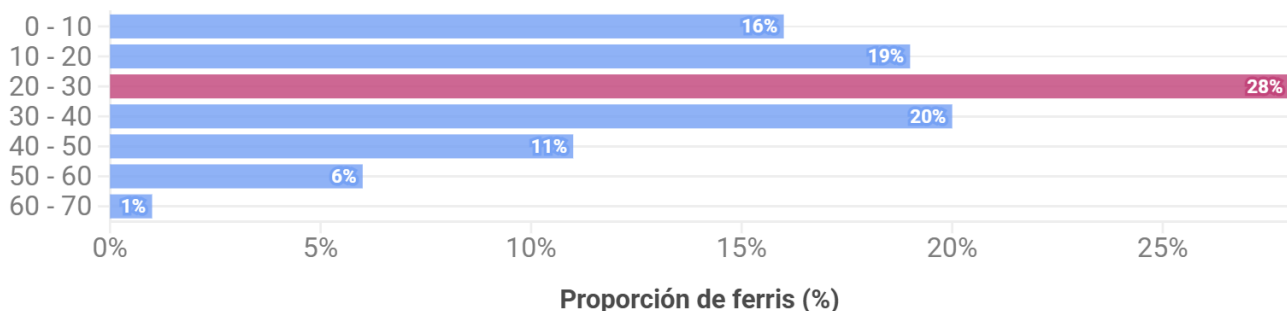
1.1 Características de la flota

Si bien los ferris son un enlace vital tanto para la movilidad como para el comercio de la Unión, también constituyen uno de los segmentos más envejecidos dentro del sector del transporte marítimo. La [media de edad de los buques Ro-Pax es de 26 años](#), y casi una cuarta parte de los ferris con pabellón de la UE supera los 30 años de antigüedad. Estos buques, en lugar de ser sustituidos, suelen mantenerse operativos mediante reacondicionamientos.

La antigüedad y el diseño [varían significativamente según la región](#). Así, los ferris que navegan por el Mediterráneo suelen ser más grandes y antiguos, y experimentan picos de demanda estacionales. De hecho, muchas de las rutas que hemos analizado se localizan en el mar Mediterráneo, y los ferris de esta región transportan el mayor número de pasajeros de entre todas las regiones incluidas en el estudio. Por el contrario, los ferris del Báltico y del mar del Norte son, por lo general, más jóvenes, operan rutas más cortas y de alta frecuencia, y han estado sujetos a normativas medioambientales más estrictas durante más tiempo que los ferris mediterráneos. Esto último se explica por la aplicación de las [Zonas de Control de Emisiones](#) de óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

La antigüedad media de los ferris europeos es de 26 años

Antigüedad de los ferris



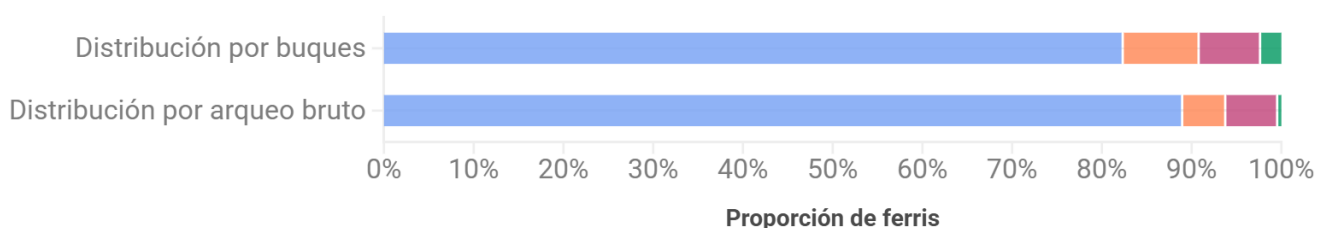
Fuente: T&E (2025) • Calculada desde el año de construcción del ferri hasta 2025.

En cuanto a la propulsión, la gran mayoría de los ferris son de combustión interna (ICE, en inglés) y diésel, y una pequeña proporción utiliza también gas natural licuado (GNL). Los buques diésel-eléctricos siguen propulsándose con combustibles fósiles, pero los utilizan para accionar un generador de electricidad que, a su vez, alimenta los motores eléctricos.

Los buques híbridos representan el 7% de la flota europea, mientras que los buques de batería suponen un 2% adicional. Aunque la tendencia es aún incipiente, los buques de las rutas europeas representan una [porción significativa](#) de la flota eléctrica mundial y están avalados por una sólida [experiencia en construcción naval](#).

En los ferris aún predominan los motores convencionales

Tipo de motor — ICE — Diésel-eléctrico — Híbrido — Baterías



Fuente: T&E (2025) a partir de datos del Registro de la Flota Mundial de Clarksons (World Fleet Register).

Los ferris Ro-Pax constituyen el mayor segmento del sector, pero se compone de tipos de embarcaciones muy diversas. Los ferris de alta velocidad más modernos, aunque poco numerosos, generan emisiones considerables debido a su alta velocidad y a su elevado consumo de combustible. Por otro lado, los ferris de pasajeros de menor tamaño, que suelen

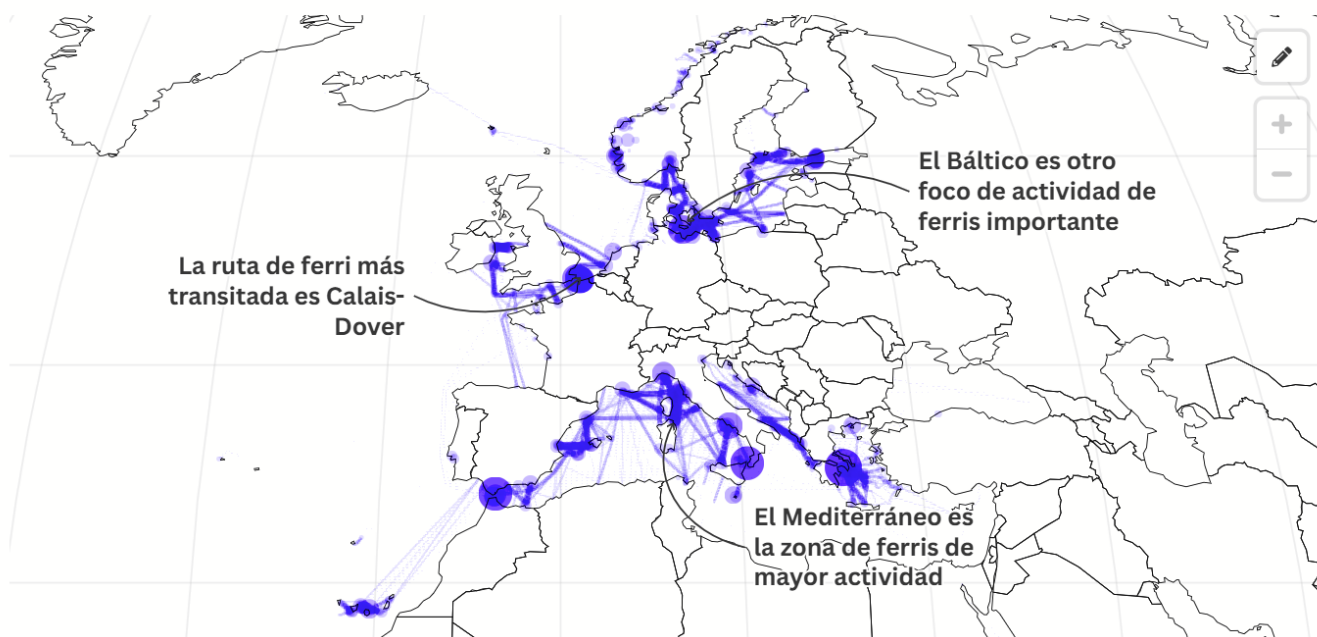
operar en conexiones urbanas o insulares, están a la vanguardia de la electrificación, especialmente en el norte de Europa.

1.2 Distribución geográfica

Desde el punto de vista geográfico, la mayoría de los ferris operan a nivel nacional o dentro de la UE, y se **concentran en tres regiones**: el mar Báltico, el mar del Norte y el Mediterráneo. Más de la mitad de las rutas se sitúan en el Mediterráneo donde, como ya se ha mencionado, operan los ferris de mayor tamaño y más antiguos. La mayoría de las rutas conectan grandes islas mediterráneas, como Córcega, Cerdeña y las Islas Baleares, con sus respectivos países. También hay conexiones internacionales, como la ruta entre Civitavecchia (Italia) y Barcelona (España), o entre Igumenitsa (Grecia) y Ancona (Italia). En el mar Báltico, los ferris operan, por un lado, a lo largo de rutas norte-sur que conectan los países escandinavos con Alemania y Polonia y, por otro lado, en rutas este-oeste que conectan Alemania con los países bálticos y Finlandia. En el mar del Norte, los ferris conectan Irlanda y el Reino Unido con Francia, Bélgica y los Países Bajos.

El Mediterráneo, el canal de la Mancha y el mar Báltico son los principales focos de actividad de ferris en Europa.

Emisiones de CO2 de los ferris



Fuente: T&E (2025) a partir de datos del AIS. • Ferris operativos en 2023 en el EEE y el Reino Unido. Los puntos de mayor tamaño representan mayor volumen de emisiones.

1.3. Relevancia medioambiental

La flota de ferris deja una huella medioambiental significativa: en 2023, las emisiones de los buques de pasajeros y Ro-Pax representaron el [16,5% de todas las emisiones de CO₂ del transporte marítimo](#) que se notificaron en el sistema de seguimiento, notificación y verificación (SNV) de la UE. Esta cifra no contempla a los buques de arqueo bruto de menos de 5000 toneladas que, si bien constituyen una parte importante de la flota, no figuran en los cálculos oficiales. Además, los ferris son una fuente importante de contaminación atmosférica, ya que emiten óxido de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas en suspensión (PM) y carbono negro (CN). Dado que los ferris operan de forma frecuente en zonas portuarias urbanas, estas emisiones tienen un impacto negativo directo sobre la salud de la población local.

1.4 Normativa

Los buques de pasajeros y Ro-Pax de corto y medio alcance están sujetos a marcos regulatorios que se solapan. En conexiones internacionales, se aplican tanto la normativa específica de la UE como la normativa global de la Organización Marítima Internacional (OMI).

1.4.1 A nivel global/OMI

A escala internacional, el Convenio [MARPOL](#) (que regula la contaminación derivada de los combustibles, las aguas residuales, los residuos y las emisiones atmosféricas) exige que los buques de arqueo bruto de más de 400 toneladas cumplan los requisitos destinados a mejorar la [eficiencia energética de las embarcaciones](#) (EEXI y EEDI). Por su parte, de acuerdo a este Convenio, los buques de arqueo bruto de más de 5000 toneladas deben informar de su consumo de combustible en el marco del sistema de recogida de datos (DCS, en inglés) de la OMI y cumplir con su Indicador de Intensidad de Carbono (CII, en inglés). Además, los ferris que operan en Zonas de Control de Emisiones, como el mar Báltico, el canal de la Mancha, el mar del Norte y, a partir de 2025, el mar Mediterráneo, deben cumplir límites más estrictos de emisiones de SO_x.

Cabe destacar que la normativa de la OMI se aplica a los buques que realizan viajes internacionales, paralelamente a la normativa nacional pertinente de cada puerto de escala, así como al reglamento del Estado del pabellón bajo el cual están registrados esos buques. Esta jerarquía normativa se establece en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar ([UNCLOS](#)) y está reconocida en los convenios [SOLAS](#) y MARPOL de la OMI.

Aunque muchos ferris europeos operan en rutas exclusivamente nacionales y quedan, por tanto, fuera del ámbito de aplicación de varias de las medidas de la OMI (y se rigen, por tanto, por su normativa nacional y por la de la UE), la Unión Europea ha incorporado (parcialmente) el marco global a su legislación vinculante (por ejemplo, mediante la [Directiva sobre el azufre](#), la



[Directiva sobre el control de los buques por el Estado rector del puerto](#) o la [Directiva sobre el control por el Estado de abanderamiento](#)), garantizando así una aplicación coherente en todos los Estados miembros.

1.4.2 A nivel de la UE

En la Unión Europea, los ferris se someten a la misma legislación climática y medioambiental general que aplica a cualquier otra embarcación de pasajeros. Este marco regulatorio integral incentiva las inversiones en tecnologías de cero emisiones y en electrificación, ya que acatarlo conlleva beneficios tanto en términos de conformidad con el Reglamento FuelEU Maritime, como por el ahorro de costes respecto al Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE).

Con el Reglamento FuelEU Maritime (FEUM) se pretende estimular la implantación de sistemas de propulsión de bajas y cero emisiones (incluida la electrificación), al obligar a los buques con arque bruto de 5000 toneladas o más a reducir de forma progresiva la intensidad de GEI de la energía consumida a bordo. No obstante, algunos buques de pasajeros se están beneficiando actualmente (y hasta el 31 de diciembre de 2029) de una serie de exenciones en los siguientes casos: trayectos nacionales a islas de menos de 200 000 habitantes; trayectos entre regiones ultraperiféricas; rutas transnacionales de servicio público para Estados miembros sin frontera terrestre; y conexiones insulares de servicio público anteriores a 2023 (incluidos los enclaves españoles de Ceuta y Melilla). Más allá de los objetivos de intensidad de carbono, el reglamento FEUM también obligará a los grandes ferris a conectarse al suministro eléctrico en puerto durante el amarre a partir de 2030.

Paralelamente, el RCDE exige a las navieras entregar derechos de emisión en función del ámbito de aplicación estipulado en el régimen (es decir, el 100% de las emisiones de los viajes dentro del EEE, el 100% de las emisiones generadas en puertos del EEE y el 50% de los viajes entre puertos del EEE y de fuera del EEE) para los buques de pasajeros, incluidos los ferris de arque bruto de 5000 toneladas o más, desde 2024. Al igual que con el FEUM, se aplican exenciones hasta el 31 de diciembre de 2030 para los ferris de pasajeros (excluidos los cruceros) y Ro-Pax que operen en [determinadas rutas insulares](#) (dentro de la misma jurisdicción, sin conexión por carretera o ferrocarril y con menos de 200 000 habitantes), que operen en rutas transnacionales de servicio público (actualmente solo entre Chipre y Grecia) y en viajes con destino a puertos de regiones ultraperiféricas o entre ellos, siempre que pertenezcan al mismo Estado miembro. Además, los buques que operen en aguas polares con clasificación IA, IA Super u otra equivalente pueden entregar un 5% menos de derechos de emisión que el volumen de emisiones verificadas.

Asimismo, el [Reino Unido está estudiando ampliar la cobertura de su propio sistema de comercio de emisiones al sector marítimo](#), el cual seguirá los mismos parámetros que el de la

UE. Las empresas deberán entregar derechos de emisión por las emisiones de los ferris de arqueo bruto de 5000 toneladas o más a partir de julio de 2026. Según el texto actualmente vigente, el sistema del Reino Unido (UK ETS) cubrirá únicamente las emisiones generadas en puerto y en los trayectos entre puertos del Reino Unido, y solo eximirá de su aplicación a los buques gubernamentales no comerciales.

Dado el elevado nivel de emisiones que generan los buques en puerto, el [Reglamento relativo a la implantación de una infraestructura para los combustibles alternativos \(AFIR\)](#) refleja lo establecido en el FEUM e introduce la obligación de que los puertos marítimos proporcionen suministro eléctrico en puerto (OPS, en inglés) a los buques de pasajeros (y a los portacontenedores) de arqueo bruto igual o superior a 5000 toneladas para el año 2030. La obligación se aplica únicamente a los puertos que registren un número suficiente de escalas anuales por tipo de buque (por ejemplo, 40 en el caso de los ferris), y son los Estados miembros los que deben garantizar la existencia de un número suficiente de puntos de conexión para cubrir las necesidades de energía eléctrica de, al menos, el 90% de estas escalas portuarias. Además, se aplican exenciones similares a las previstas en el FEUM.

Aparte de las emisiones de GEI, los ferris también están sujetos a las normas que limitan la contaminación atmosférica integradas en la legislación de la UE (por ejemplo, la Directiva sobre el azufre). También están sujetos a la normativa de la UE sobre los [derechos de los pasajeros](#), mientras que el acceso a los mercados nacionales está liberalizado mediante el reglamento sobre [cabotaje marítimo](#) (Reglamento CEE n.º 3577/92). Si se trata de transporte esencial con destino a regiones remotas que requiera apoyo público, se aplican las [obligaciones del servicio público](#) y la normativa sobre el [control de ayudas estatales](#).

1.4.3 A nivel nacional

Además de este marco armonizado a escala de la UE, también se establece una regulación nacional y regional que refleja el carácter de servicio público de muchas rutas. El sector de los ferris se encuentra estrechamente ligado a los sistemas de transporte público y a la conectividad regional.

El reglamento de [cabotaje marítimo](#) de la UE liberalizó de forma sustancial este sector al permitir que los buques registrados en un Estado miembro pudieran operar rutas con independencia de las fronteras nacionales. En casos en los que los ferris cumplen una función esencial de transporte público, pero su explotación no es económicamente viable, suelen operar [con apoyo público o bajo titularidad pública](#). Si bien son de aplicación las normas generales sobre ayudas estatales y las directivas en materia de contratación pública (Directiva 2004/17/CE y Directiva 2004/18/CE), la legislación nacional o regional sobre cabotaje también define cómo se articula el apoyo público. Este apoyo se extiende desde la adjudicación de contratos de servicio público financiados con fondos públicos, la imposición de la obligación

del servicio público o incluso la propiedad estatal directa de ciertos ferris. Por tanto, los gobiernos nacionales y regionales disponen de un amplio margen de maniobra para establecer requisitos a través de licitaciones y procedimientos de contratación pública.

Así, el grado de implicación pública varía considerablemente entre regiones: en los mares Báltico y del Norte muchas rutas son económicamente viables y operan en condiciones de mercado, si bien determinadas rutas cuentan con una intervención estatal significativa. A menudo se imponen requisitos adicionales, como estándares medioambientales en el marco de las [normas vigentes sobre ayudas estatales](#). Estos requisitos han acelerado la adopción de buques más eficientes, han favorecido precios más competitivos y, más recientemente, han dado lugar a la introducción de algunos ferris híbridos y totalmente eléctricos en las rutas más cortas.

Por el contrario, en el Mediterráneo y el Atlántico, muchas conexiones de ferri siguen operando mediante subvenciones estatales directas, bajo contratos de concesión o con tarifas reguladas, y con requisitos medioambientales menos estrictos o nulos. En comparación con las rutas de explotación comercial y en régimen de competencia, se mantienen operativos buques más antiguos, como ocurre en las conexiones insulares de Grecia, Italia, España, Francia y Portugal.

Este mosaico de enfoques nacionales plantea desigualdades en la presión regulatoria a la que se someten los ferris dentro de la Unión Europea, lo cual repercute tanto en las decisiones de inversión como en la rapidez con que se renueva la flota. Un ejemplo prominente es la [regulación](#) del cabotaje en Noruega que, junto con la incorporación de criterios de sostenibilidad en las ayudas públicas y la imposición de [obligaciones](#) medioambientales adicionales, ha dado lugar a una flota de ferris considerablemente más moderna, con una elevada proporción de buques electrificados o propulsados por combustibles alternativos. La legislación de la UE permite incorporar requisitos medioambientales similares en la contratación pública mediante los [criterios MEAT](#) (oferta económicamente más ventajosa), si bien su aplicación es opcional.

Un ejemplo relevante de regulación nacional que supera los estándares de la UE es la transposición del Convenio [OSPAR](#) al ordenamiento interno. En virtud de este convenio, once Estados miembros de la UE, junto con Noruega, el Reino Unido, Suiza y Luxemburgo, así como la propia Unión Europea, acordaron prohibir el vertido de aguas residuales procedentes de los «depuradores» o sistemas de limpieza de gases de escape (SLGE) en las zonas costeras y portuarias del Atlántico nororiental.

Apartado 2

2. Tráfico y emisiones de los ferris

2.1 Resumen sobre la metodología

A partir de los datos del sistema de identificación automática (AIS) y de las especificaciones técnicas individuales de cada buque, utilizamos un modelo ascendente para calcular el tráfico de 2023, así como el consumo energético y las emisiones del tanque a la estela (*tank-to-wake [TtW]*) de los ferris de arqueo bruto superior a 400 toneladas que operan en Europa. Incluimos todos los trayectos dentro de, con origen en o con destino en el EEE y el Reino Unido. También se incluyen los viajes de los ferris híbridos, pero se excluyeron sus posibles emisiones, ya que no pueden estimarse de forma fiable sin estadísticas de uso de las baterías. El análisis abarca los GEI y contaminantes atmosféricos, como CO₂, CH₄, N₂O, carbono negro (BC), SO_x, NO_x y PM_{2,5}. Comparamos la contaminación atmosférica generada por los ferris a menos de 5 millas náuticas de cada puerto con la que producen los automóviles matriculados en las ciudades correspondientes. Los factores de emisión se basan en el [cuarto estudio de la OMI sobre los GEI](#) y las hipótesis sobre el uso de combustibles reflejan el cumplimiento real de las normas sobre el contenido de azufre. La metodología completa aparece detallada en el Anexo 1 [en inglés].

2.2 Tráfico total y emisiones de GEI

Se estima que 1043 ferris europeos emitieron 15,3 Mt de CO₂e en 2023, de las cuales el 88% correspondía a CO₂ y el 9% a [carbono negro](#), un agente de calentamiento global extremadamente potente compuesto por partículas procedentes de la combustión incompleta.

Identificamos 2,6 millones de viajes a lo largo del año, de los cuales el 80% fueron realizados por ferris de arqueo bruto de entre 400 y 5000 toneladas. Pese a ello, los ferris de arqueo bruto superior a 5000 toneladas concentraron el 88% de las emisiones totales. Por consiguiente, el 12% de las emisiones producidas por los ferris queda exento del RCDE de la UE debido al menor tamaño de los buques, ya que el régimen solo se aplica actualmente a buques de arqueo bruto de más de 5000 toneladas.

Arqueo bruto	Buques	Viajes	CO ₂ (t)	CH ₄ (t)	N ₂ O (t)	CN (t)	CO ₂ e a 100 años (t)
400-5000	632	2 041 542	1 696 914	328	84	134	1 849 988
>5000	411	512 574	11 756 789	9 835	625	1 355	13 439 770

Total	1043	2 554 116	13 453 702	10 163	709	1 488	15 289 758
--------------	------	-----------	------------	--------	-----	-------	------------

Tabla 1: Emisiones de GEI y contaminación atmosférica de los ferris.

2.3 Tráfico y emisiones de GEI a nivel de ruta

Las rutas con mayores emisiones de CO₂ incluyen travesías de larga distancia y poco frecuentes, travesías cortas y muy frecuentes y situaciones intermedias, lo que pone de relieve cuán variado es el sector de los ferris. Entre las rutas más contaminantes destacan el cruce del Báltico entre Helsinki y Travemünde, pese a que se registran solamente unas 700 travesías, y la travesía corta entre Calais y Dover, con más de 24 000 cruces al año. La distancia de tres de las cinco rutas con mayores emisiones de CO₂ no llega a las 100 millas náuticas, y 6 de las 10 principales rutas superan ese umbral.

Puesto	Ruta (puertos)	Países	Buques	N.º de viajes	CO ₂ anual (t)	Distancia media por viaje (mn)	Duración media del viaje (h)
1	Helsinki-Travemünde	FIN-DEU	6	707	300 065	658	30
2	Calais-Dover	FRA-GBR	11	24 389	292 133	25	2
3	Helsinki-Tallin	FIN-EST	9	10 109	221 457	47	3
4	Dublín-Holyhead	IRL-GBR	10	5963	192 651	61	3
5	Palma de Mallorca-Valencia	ESP-ESP	17	2485	187 595	147	8
6	Barcelona-Civitavecchia	ESP-ITA	5	529	181 694	460	22
7	Nápoles-Palermo	ITA-ITA	18	1876	168 247	178	11
8	Golfo Aranci-Livorno	ITA-ITA	18	1663	158 751	162	10
9	Rostock-Trelleborg	DEU-SWE	12	3859	150 458	95	6
10	Malmö-Travemünde	SWE-DEU	5	1923	150 139	151	9

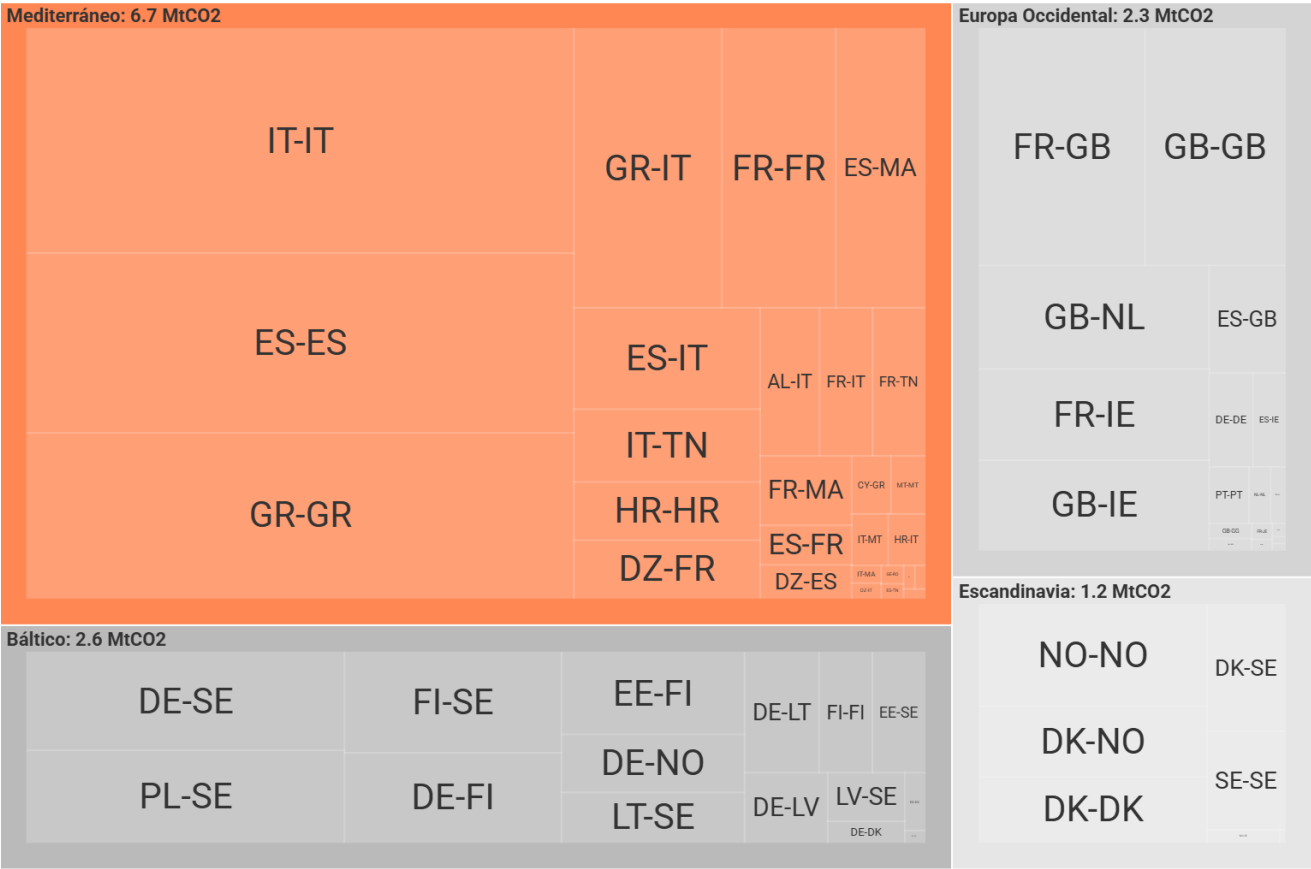
Tabla 2: Rutas de ferri, clasificadas por emisiones de CO₂.

2.4 Tráfico y emisiones de GEI a nivel de país

El mar Mediterráneo registra la mayor concentración de emisiones de CO₂ de ferris, cuyos valores más elevados en términos absolutos corresponden a las rutas nacionales de Italia, España y Grecia. En los países escandinavos, las emisiones están más repartidas, pero las rutas nacionales de Noruega se revelan como las más contaminantes, al igual que las conexiones entre Suecia y Polonia o entre Alemania y Finlandia en el mar Báltico. En general, las emisiones en Europa del Norte parecen vincularse más a las conexiones internacionales, mientras que en el Mediterráneo se concentran en mayor medida en las rutas nacionales.



El mar Mediterráneo es el principal foco de emisiones de los ferris



Fuente: T&E (2025) a partir de datos del AIS. Se contabilizan ambos sentidos de las rutas. El tamaño de los círculos representa las emisiones agregadas de CO₂ que se generan en cada ruta. Solo se cuentan las rutas con más de 10 trayectos.

La siguiente tabla muestra los 10 principales países europeos por emisiones de CO₂ según los viajes (ver Anexo 2 [en inglés] para la clasificación completa), con las emisiones repartidas a partes iguales entre los países de origen y destino. Italia encabeza la lista con 2,4 Mt de CO₂, seguido por España y Grecia; conjuntamente, estos tres países suman 5,7 Mt de CO₂. Las emisiones de Italia proceden principalmente del tráfico nacional y de las estancias en puerto (75%). Las emisiones de Francia y del Reino Unido se deben mayoritariamente a cruces internacionales (53% y 49%, respectivamente). Por el contrario, Grecia presenta una alta concentración nacional, pues el 82% del CO₂ emitido por los ferris corresponde a rutas nacionales. En cuanto a Noruega, pese a registrar casi 1,2 millones de viajes, presenta emisiones relativamente bajas ya, que opera rutas más cortas y con buques de menor tamaño (si bien cabe destacar que, aunque los viajes internacionales representan menos del 1% de los trayectos, generan un tercio de sus emisiones debido al gran tamaño de los ferris internacionales).

Puesto	País	Buques	Viajes	Proporción de viajes nacionales (%)	CO ₂ de viajes y estancias en puerto (t)	Proporción de CO ₂ de viajes nacionales y estancias en puerto (t)
1	Italia	210	231 695	97,5%	2 372 319	75%
2	España	126	80 667	80,1%	1 769 088	78%
3	Grecia	177	188 840	98,6%	1 541 326	82%
4	Reino Unido	108	175 484	85,8%	1 204 772	51%
5	Francia	112	41 457	48,7%	1 148 122	47%
6	Suecia	98	106 033	60,6%	1 008 529	25%
7	Alemania	83	71 065	56,7%	660 750	16%
8	Noruega	222	1 176 275	99,6%	656 784	67%
9	Finlandia	47	76 200	87,0%	536 626	25%
10	Dinamarca	77	182 069	72,1%	482 524	58%

Tabla 3: Resumen de la actividad de los ferris por país, ordenada por emisiones de CO₂.

2.5 Tráfico y emisiones de GEI a nivel de puerto

De forma similar, dividimos las emisiones de CO₂ entre los respectivos puertos de origen y destino de cada trayecto, y mostramos una clasificación de los 10 principales puertos por emisiones de CO₂. La clasificación completa de los 50 primeros está disponible en el Anexo 2. Los puertos mediterráneos son los claros protagonistas, pues ocupan 7 de las 10 primeras posiciones. Aunque Barcelona registra el mayor nivel de emisiones de CO₂, los valores de los cinco primeros puertos (de cinco países distintos) no distan mucho entre sí. En consonancia con los patrones nacionales, Barcelona opera menos trayectos, pero de mayor distancia, mientras que El Pireo opera cruces más frecuentes, pero más cortos. La distancia media de los viajes con destino a Barcelona es casi tres veces superior a la de los viajes que arriban a El Pireo. Génova y Marsella también se encuentran entre las primeras posiciones, pese a que registran un número relativamente reducido de viajes.

Puesto	Puerto	País	Buques	Viajes	CO ₂ de viajes y estancias en puerto (t)	Distancia media (mn)
1	Barcelona	España	42	3244	327 924	208
2	El Pireo	Grecia	86	9597	318 748	73
3	Helsinki	Finlandia	17	5957	316 696	101
4	Travemünde	Alemania	21	2620	311 542	237

5	Génova	Italia	47	1631	292 435	311
6	Marsella	Francia	34	1501	252 942	304
7	Livorno	Italia	48	2694	249 920	146
8	Palermo	Italia	34	2056	230 149	219
9	Civitavecchia	Italia	26	1302	213 700	260
10	Trelleborg	Suecia	18	4978	203 590	108

Tabla 4: Principales puertos de ferris, clasificados según las emisiones de CO₂ asociadas.

2.6 Contaminación atmosférica total en las proximidades de los puertos europeos

Se estima que, en conjunto, en 2023 los ferris pasaron aproximadamente 5 millones de horas navegando o atracados a menos de 5 millas náuticas de los puertos europeos, durante las cuales emitieron 6848 toneladas de SO_x, 64 487 toneladas de NO_x y 2368 toneladas de PM_{2,5}. Esto representa el 60% del total anual de tiempo de operación, lo que pone de relieve que una parte sustancial de sus emisiones se produce en áreas costeras densamente pobladas.

Tiempo total en las proximidades de los puertos (h)	Consumo total de combustible (t)	SO _x total (t)	NO _x total (t)	PM _{2,5} total (t)
4 929 493	1 455 429	6848	64 487	2368

Tabla 5: Contaminación atmosférica urbana por SO_x causada por ferris

2.7 Contaminación atmosférica a nivel de puerto

Debido a la ampliación progresiva de las Zonas de Control de Emisiones de Azufre (SECA), se espera que la contaminación atmosférica en los puertos siga una tendencia descendente en los próximos años. El 1 de mayo de 2025, el mar Mediterráneo se convirtió en una Zona de Control de Emisiones (ECA), lo que obliga a los buques que lo transiten a utilizar combustibles con un contenido máximo de azufre del 0,1%. La ECA del Atlántico Norte, que abarca parte de las zonas económicas exclusivas (ZEE) de España, Portugal, Francia, el Reino Unido, Irlanda e Islandia, introducirá requisitos similares, además de un límite a las emisiones de óxidos de nitrógeno. Prevista inicialmente para entrar en vigor en 2027, su adopción en la OMI se retrasó unos seis meses. Hemos proyectado la contaminación atmosférica en los puertos europeos con arreglo a tres escenarios y en tres momentos: Sin ninguna ECA (2023), solo con la ECA del Mediterráneo (2025) y tanto con la aplicación de la ECA del Mediterráneo como la del Atlántico Norte (2027).

En 2023, Algeciras y El Pireo fueron los puertos de mayor contaminación y cuatro puertos italianos figuraban entre los diez primeros puestos. En 2025, todos los puertos italianos caen de los diez primeros puestos y son sustituidos por cuatro puertos del Reino Unido e Irlanda en los que no rige ninguna SECA, con Dublín a la cabeza como el puerto más contaminado. Se prevé que, una vez entre en vigor la ECA del Atlántico Noreste en 2027, los puertos de las Islas Canarias se convertirán en los más contaminados de Europa al no estar dentro de ninguna ECA. Esto apunta a que los puertos más contaminados se sitúan sistemáticamente fuera de las SECA. Como cabría esperar, entre los puertos más contaminados figuran aquellos en los que se registra mayor nivel de actividad.

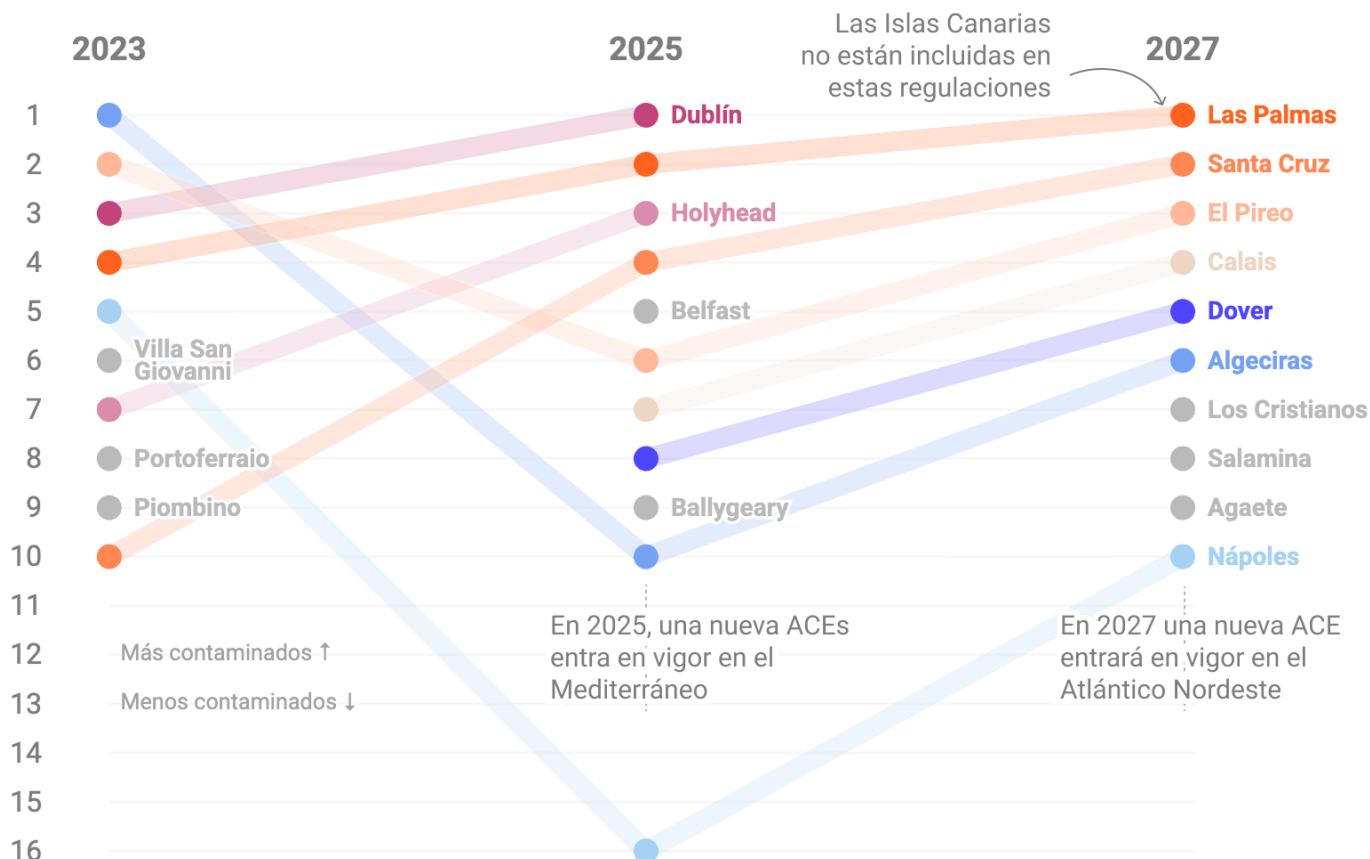
Puesto	Puerto	País	Ferris	SO _x de ferris (kg)	SO _x de automóviles (kg)	Relación SO _x ferris/auto móviles	Emisiones de CO ₂ (t)
1	Dublín	IRL	12	92 081	5813	15,8	38 081
2	Las Palmas	ESP	19	83 125	2471	33,6	40 824
3	Holyhead	GBR	11	80 265	96	837	28 700
4	Santa Cruz	ESP	18	71 993	1613	44,6	30 198
5	Belfast	GBR	15	62 840	1750	39,8	23 579
6	El Pireo	GRC	86	52 178	1787	29,2	95 414
7	Calais	FRA	13	51 028	405	125,9	83 745
8	Dover	GBR	12	49 258	780	63,1	87 769
9	Ballygeary	IRL	13	47 230	13	3659,3	23 955
10	Algeciras	ESP	39	44 840	798	60,5	81 276

Tabla 6: Comparación de la contaminación atmosférica procedente de los ferris con SO_x en puerto (2025).

Se prevé que en 2025 Dublín, Las Palmas y Holyhead sean los puertos más contaminados, con entre 92 y 80 toneladas de SO_x emitidas. En las ciudades portuarias donde se dispone de datos de matriculación de automóviles, las emisiones de SO_x de los ferris superan en más de diez veces las procedentes de las flotas locales de vehículos en grandes urbes como Dublín y El Pireo. Este marcado desequilibrio pone de relieve cuán desproporcionado es el impacto de los ferris en la contaminación atmosférica, especialmente en ciudades portuarias que registran un elevado tráfico marítimo con controles de emisiones limitados. Incluso con un límite máximo de azufre del 0,1%, más estricto que los anteriores, las exigencias aplicables a los buques siguen siendo 100 veces menos rigurosas que las que rigen para los [automóviles](#)

Se espera que las nueva Áreas de Control de Emisiones (ACEs) tengan un impacto significativo en la contaminación atmosférica de los ferris

Clasificación según la contaminación atmosférica



Fuente: T&E (2025). Los datos corresponden a 2023 y se han proyectado conforme a las zonas SECA una vez entren en vigor.

Apartado 3

3. Evaluación técnica y económica de las tecnologías de descarbonización

Del mismo modo que ocurre en otros segmentos del transporte marítimo, los ferris deben reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y esto puede lograrse con medidas de eficiencia energética (por ejemplo, sistemas de propulsión que aprovechen el viento), la

conexión a la red eléctrica en puerto (OPS) y el uso de fuentes de energía alternativas. No obstante, el sector de los ferris ocupa una posición singular: a diferencia del transporte marítimo de mercancías de larga distancia, los ferris presentan características muy distintas, como rutas más cortas, horarios previsibles y buques de menor tamaño, lo que justifica que se evalúen de forma específica las tecnologías de cero emisiones. El objetivo principal de este análisis es examinar la viabilidad técnica y económica de diferentes combustibles alternativos de cero emisiones y de la tecnología de baterías en las travesías de ferris en Europa.

3.1 Resumen sobre la metodología

Hemos evaluado el potencial de los siguientes combustibles y tecnologías de propulsión que contribuirían a descarbonizar la flota europea de ferris:

- Eléctricos mediante baterías
- Híbridos eléctricos
- Hidrógeno líquido renovable (LH₂)
- Metanol renovable
- Amoníaco renovable
- Biocombustible HVO

Seleccionamos los buques aptos para cada tecnología teniendo en cuenta sus patrones operativos, el número de puertos en los que operan y la frecuencia de los viajes, aplicando criterios más estrictos en el caso de los ferris totalmente eléctricos para garantizar la viabilidad de la recarga. Para cada opción, evaluamos la viabilidad técnica de todos los buques de la flota y comparamos su coste total de propiedad (CTP) con el de un ferri convencional que opera con una mezcla de combustibles conforme al FuelEU. En primer lugar, analizamos la viabilidad técnica de los ferris que pueden cubrir su ruta más exigente con baterías, y luego comparamos los gastos de capital (CAPEX) y los costes operativos a lo largo de la vida útil de un buque eléctrico de baterías con los de uno propulsado por diésel.

Proyectamos ferris de nueva construcción en 2025, 2030 y 2035, asumiendo una vida útil de 30 años por buque. Definimos una ruta representativa «más crítica» para cada buque en función de la proporción de viajes y la distancia, y la utilizamos para dimensionar las baterías o el almacenamiento de combustible. Adoptamos un enfoque conservador, asumiendo las mismas características operativas y que no se requiere espacio adicional para los sistemas de propulsión alternativos. Las características de las baterías se obtuvieron a partir de fuentes del sector y se ajustaron para reflejar previsiones conservadoras de la evolución tecnológica futura. Para los combustibles alternativos, tuvimos en cuenta su menor densidad energética y el mayor CAPEX asociado a motores o pilas de combustible. Dado el amplio horizonte temporal considerado y las tendencias y [expectativas](#) actuales, asumimos que los precios de los combustibles fósiles volverían a niveles previos al COVID, mientras que los precios de la

electricidad se mantendrían en su nivel actual. También analizamos el impacto de los impuestos sobre la electricidad en los resultados globales, dado que influyen significativamente en el CTP y varios países europeos ya han reducido los impuestos aplicables al suministro eléctrico en puerto. Utilizamos precios de [DNV](#) para los electrocombustibles y de Stratas Advisors para los biocombustibles. Por último, asumimos que los buques de arqueo bruto superior a 400 toneladas estarían incluidos en el RCDE y en el FuelEU Maritime a partir de 2030.

En el Anexo 1 se detalla la metodología completa.

3.2 Evaluación de los ferris eléctricos de batería

3.2.1 Selección de buques

De los 1043 ferris que componen la flota actual, 904 operan con combustibles convencionales y disponen de datos suficientes para incluirlos en el análisis del CTP. Son estos buques los que sirvieron de base para nuestro análisis. Para controlar la heterogeneidad de horarios y las posibles diferencias en la disponibilidad de infraestructuras, acotamos el análisis a los ferris que hacen escala en un número reducido de puertos. Según este criterio, se estudiaron aquellos buques que, en el 95% de la distancia total recorrida, hacen escala en menos de diez puertos. Con este enfoque conservador, 70 ferris quedan fuera de la clasificación de electrificables, a pesar de que sí lo serían potencialmente si en todos sus puertos se instalara la infraestructura de recarga necesaria. A lo largo de este apartado, estos ferris se clasifican como «no viables o no rentables», aunque no se haya calculado su CTP. Así, obtuvimos una muestra de 834 ferris potencialmente electrificables.

3.2.2 Viabilidad técnica y rentabilidad de la flota

Constatamos que, ya en la actualidad, el 20% de los ferris europeos resultaría más rentable como nueva construcción eléctrica que en su versión convencional, mientras que otro 28% sería técnicamente viable, pero no rentable. Si se eliminan los impuestos sobre la electricidad que se suministra en los puertos, esta proporción aumentaría y la electrificación sería competitiva en costes para el 27% de la flota. Dado que el análisis parte de supuestos prudentes sobre el rendimiento y el coste de las baterías (por ejemplo, tasas C, densidad energética y precios), así como sobre las condiciones operativas (por ejemplo, sin ampliar las escalas portuarias), es probable que el potencial tecnológico real de electrificación de los ferris sea mayor de lo estimado, siempre y cuando en los puertos se disponga de la infraestructura de recarga necesaria. Otras alternativas, como el rediseño de los buques, el establecimiento de otros horarios operativos u otras tecnologías como las baterías intercambiables, podrían impulsar todavía más el potencial de electrificación.

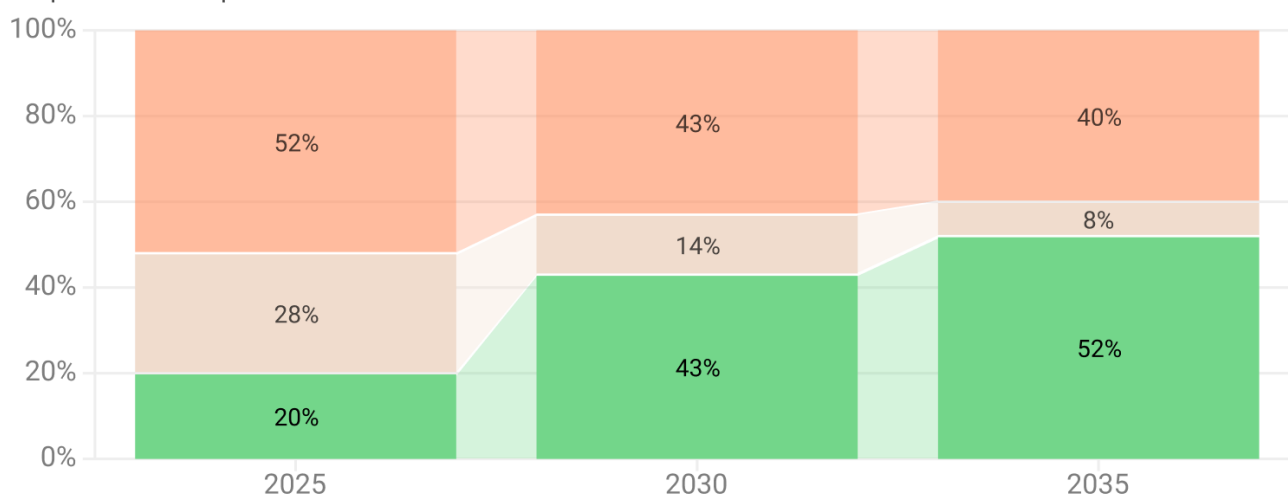
Se prevé que, para 2035, la viabilidad económica aumente hasta el 52% en el caso de nuevas construcciones, gracias a las mejoras en la tecnología de baterías y a la previsión de precios

más elevados en el RDCE, entre otros factores. Un 8% adicional sería técnicamente viable, pero no rentable. Sin impuestos sobre la electricidad, la proporción de ferris económicamente viables aumentaría en 2 puntos porcentuales hasta el 54%. Estas cifras muestran que las baterías tienen un gran potencial para descarbonizar el sector de los ferris y reducir costes al mismo tiempo. Este efecto es especialmente visible en 2025, cuando la competitividad en costes constituye todavía una barrera relevante. Por el contrario, en 2030 y 2035 la electrificación suele ser competitiva siempre que sea técnicamente viable. En 2030 y 2035 disminuye la proporción de ferris que se categorizarían solo como técnicamente viables, a medida que mejora de forma notable la rentabilidad de los ferris eléctricos de baterías.

La mitad de los ferris europeos ya podría electrificarse con la actual tecnología de baterías

■ Técnica y económicamente viables ■ Solo técnicamente viables ■ No viables

Proporción de buques



Fuente: T&E (2025). Año de inicio: 2025, 2030 y 2035 (vida útil de 30 años). Incluye costes de combustible, costes del RCDE y CAPEX de baterías. Se mezcla biocombustible con combustibles fósiles para ajustarse a los objetivos del reglamento FuelEU Maritime • Escenario con impuestos sobre la electricidad



3.2.3 Análisis de viabilidad técnica

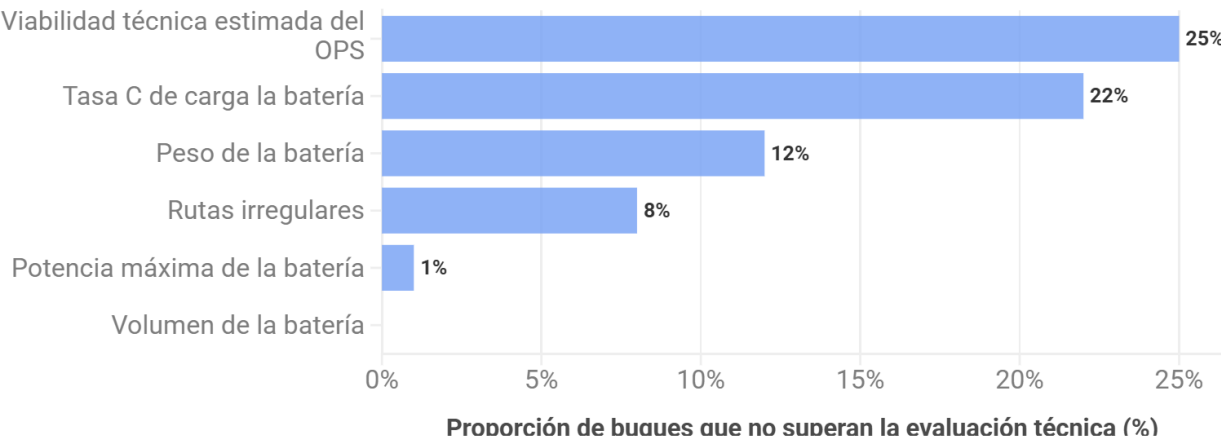
En 2025, se estima que el 48% de los nuevos ferris podría propulsarse íntegramente mediante baterías. Si se analizan con mayor detalle los obstáculos que aún limitan la viabilidad técnica de la electrificación, son los requisitos de recarga los que sobresalen claramente como la principal barrera. El problema radica en que, o bien las conexiones de recarga no suministran suficiente energía por ser demasiado pequeñas, o bien las baterías no pueden cargarse con la suficiente rapidez. La velocidad de carga de la batería (o tasa C) es el factor que excluye al 22%



de la flota, ya que los tiempos de escala de muchos ferris son demasiado cortos como para completar la recarga. En esos casos, aunque las conexiones OPS permitieran suministrar la energía suficiente durante el amarre, las especificaciones técnicas de las baterías impedirían alcanzar una velocidad de carga adecuada. Por otro lado (y con cierto solapamiento entre categorías), el 25% de la flota queda descartado porque la potencia disponible en los puntos de recarga en puerto es insuficiente para cargar las baterías. En la mayoría de los casos, los obstáculos asociados a la recarga en puerto serán más fáciles de superar que los derivados de las baterías, gracias al rápido avance que se prevé en la tecnología de estas últimas. De hecho, en 2035 solo quedaría descartado el 10% de los nuevos buques por requisitos de potencia de carga, en el supuesto de que la tasa C se duplique. En cambio, aumentar la potencia disponible en los puertos exigirá inversiones para desplegar la infraestructura necesaria.

El volumen y el peso de las baterías resultan factores menos determinantes y afectan principalmente a buques que, en cualquier caso, no cumplen los requisitos de recarga. El 12% de los buques no son técnicamente viables debido al excesivo peso de las baterías. Suponiendo que el sistema de baterías pueda ocupar un 10% adicional del espacio disponible a bordo si se distribuyese en varios módulos, el volumen no supondría limitación alguna para ningún buque. Por último, la potencia continua máxima suministrada por las baterías no parece representar un problema. Seleccionando una profundidad de descarga (DoD, en inglés) de entre el 40% y el 80%, se dispone de capacidad suficiente para cubrir las necesidades de potencia máxima requeridas para el 99% de los buques. Así pues, tanto la capacidad energética como la potencia de las baterías parecen adecuadas para satisfacer las exigencias operativas de los trayectos.

La limitada viabilidad del suministro eléctrico en puerto (OSP) y las tasas C de las baterías son los principales obstáculos para la electrificación de los ferris



Fuente: T&E (2025) • Año de construcción 2025. Las categorías no son excluyentes y pueden superponerse.



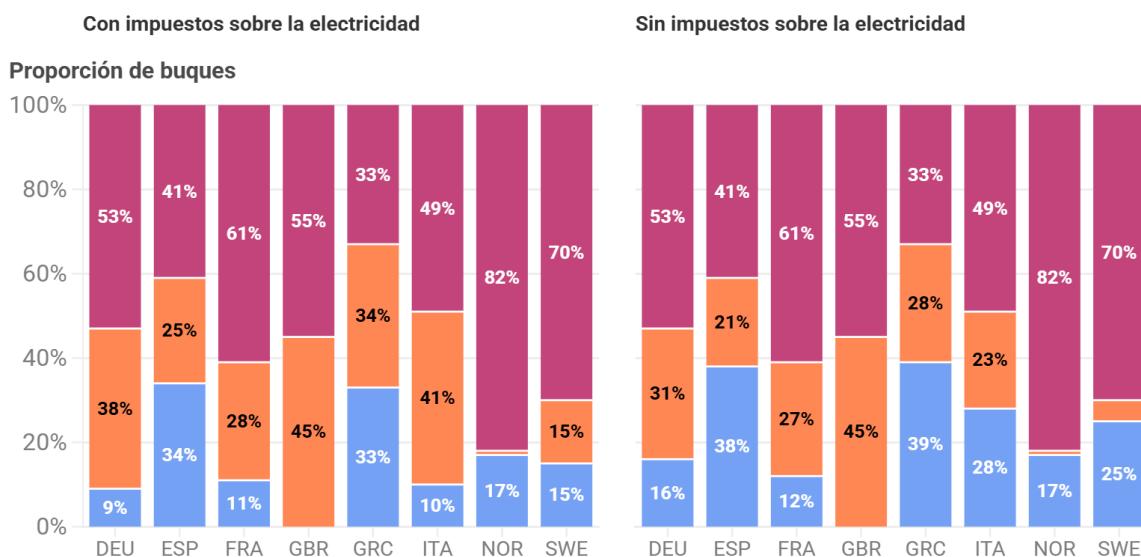
3.2.4 Viabilidad técnica y rentabilidad por país

Aun con la estimación de que en 2025 resultaría rentable sustituir el 20% de los ferris analizados por nuevos buques eléctricos (proporción que aumentaría hasta el 52% en 2035), los resultados varían de forma considerable entre países debido, principalmente, a las diferencias en los patrones de navegación y en los precios de la electricidad. Entre los principales países con rutas de ferris, las estimaciones de rentabilidad en los ferris eléctricos para 2025 presentan las mayores proporciones en España y Grecia, con un 34% y un 33%, respectivamente.

Por el contrario, ninguno de los buques analizados en el Reino Unido parece ser competitivo en costes con las baterías, mientras que otros países costeros clave, como Italia (10%) y Francia (11%), se sitúan en una posición intermedia. Ello se debe al elevado precio de la electricidad en el Reino Unido, que penaliza la propulsión mediante baterías. Además, los buques en el Reino Unido no están sujetos a objetivos de intensidad de carbono similares a los del reglamento FUEU, ni bastaría el UK ETS ([cuya entrada en vigor está prevista para 2026](#)) por sí solo para cerrar la brecha de coste total de propiedad (CTP) entre la operabilidad eléctrica y la basada en diésel. Por supuesto, eliminar los impuestos sobre la electricidad mejora la competitividad de los ferris eléctricos, con incrementos destacados en Alemania (+7%), Suecia (+10%) e Italia (+18%).

La viabilidad de la electrificación mediante baterías depende en gran medida de los precios de la electricidad en cada país

■ Técnica y económicamente viables ■ Solo técnicamente viables ■ No viables



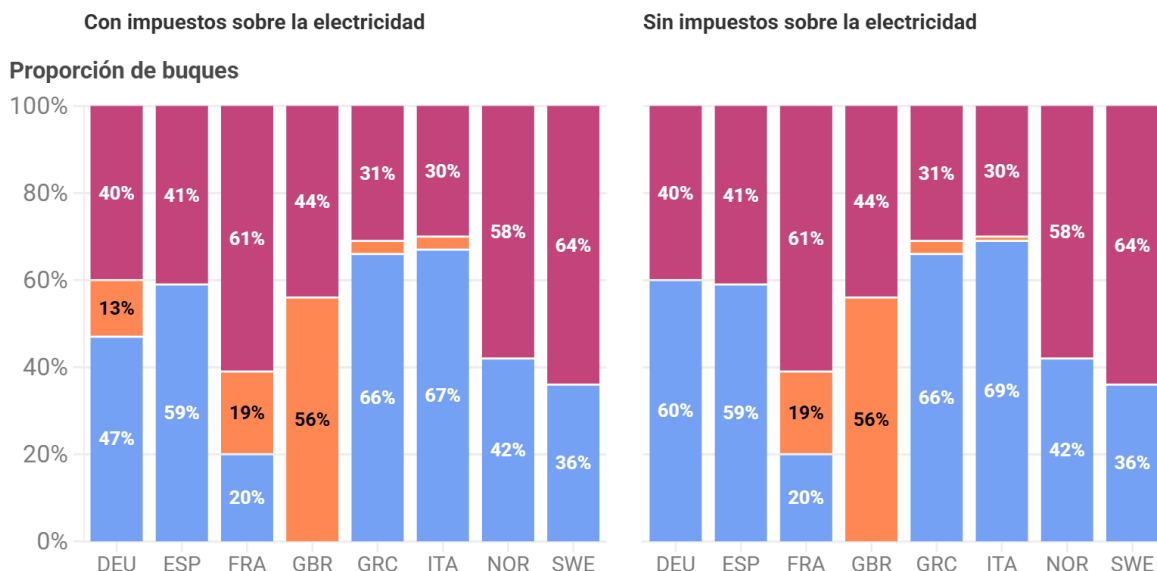
Fuente: T&E (2025) • Año de construcción 2025, con una vida útil de 30 años. Los ferris que operan rutas internacionales se contabilizan para ambos países. Solo se muestran los países con un elevado número de ferris.

En 2025, el potencial de rentabilidad en los ferris eléctricos de Noruega (al 17%) contrasta radicalmente con el hecho de que Noruega ya destaca por disponer de la mayor proporción de ferris eléctricos e híbridos de Europa. Esos buques se excluyen de la muestra y no se incluyen en los resultados anteriores. En consecuencia, nuestros resultados presentan cierto sesgo, ya que únicamente analizamos los buques restantes que aún no están electrificados y que, por tanto, tienen menor probabilidad de ser electrificables. En nuestro modelo, estimamos una baja viabilidad técnica debido a las cortas escalas de los ferris noruegos frente a las elevadas tasas C que serían necesarias. De los 131 ferris con una ruta representativa en Noruega, 102 realizan escalas de 20 minutos o menos, y 81 de ellos se consideran técnicamente no viables debido a la dificultad de recargar la batería con la rapidez suficiente. Para 2035, año en el que se prevé que las tasas C dupliquen las de 2025, se estima que el 42% de los ferris será competitivo en costes, lo que pone de manifiesto cuán decisivo es superar esta barrera.

En 2035, los principales países en los que se estima la mayor proporción de nuevas construcciones rentables son Italia (67%), Grecia (66%) y España (59%). Francia y el Reino Unido siguen a la cola en cuanto a las estimaciones de viabilidad económica: en Francia solo el 20% de los ferris, mientras que en Reino Unido se quedan en un 0%. En el caso de Francia, la principal barrera para la viabilidad técnica es la insuficiente potencia disponible en los puertos. Además, los ferris que operan entre Francia y el Reino Unido deben afrontar también elevados costes de electricidad.

Para 2035, la viabilidad de la electrificación mediante baterías superará el 50% en la mayoría de los países

■ Técnica y económicamente viables ■ Solo técnicamente viables ■ No viables



Fuente: T&E (2025) • Año de construcción 2035, con una vida útil de 30 años. Los ferris que operan rutas internacionales se contabilizan para ambos países. Solo se muestran los países con un elevado número de ferris.

3.2.5 Ahorro de costes y reducción de CO₂

Estimamos que los buques eléctricos pueden generar ahorros significativos, incluso a pesar de los impuestos sobre la electricidad. Los buques eléctricos rentables construidos en 2025 podrían reducir en un 14% los costes de energía y del RCDE a lo largo de su vida útil, lo que equivaldría a 684 millones de euros de ahorro para toda la flota potencialmente electrificable. En cuanto a los nuevos buques previstos para 2035, este ahorro podría alcanzar el 32%, lo que equivaldría a un total de 6400 millones de euros para el conjunto de la flota potencialmente electrificable. La electrificación permitiría evitar, a lo largo de la vida útil de los buques, un volumen de CO₂ equivalente al 8% del total de emisiones de la flota en 2025, un porcentaje que aumentaría al 24% en 2035. El ahorro de costes no crece en la misma proporción que el número de buques cuya electrificación resulta rentable, ya que los ferris de menor tamaño suelen ser más fáciles de electrificar.

Los ferris eléctricos rentables alcanzan el punto de equilibrio del CTP en un plazo relativamente corto, sobre todo los construidos a partir de 2030. Esto pone de relieve el peso que tienen los costes energéticos en la rentabilidad del proyecto y el potencial de beneficio de los ferris eléctricos si los operadores pueden acceder a electricidad más barata. Incluso en las proyecciones para las nuevas construcciones de 2025, el punto de equilibrio se alcanza antes de transcurridos los dos tercios de la vida útil habitual de un ferri. Por el contrario, los buques nuevos propulsados por combustibles fósiles se enfrentarán a un incremento sostenido en los precios del combustible durante toda su vida útil.

Año de construcción del ferri	Proporción de buques rentables	Ahorro durante la vida útil (M €)	Ahorro durante vida útil (%)	Ahorro de CO ₂ durante la vida útil (Mt CO ₂)	Ahorro de CO ₂ durante la vida útil (%)	Año medio de equilibrio del CTP
2025	20%	684	14%	33	8%	19
2030	43%	3571	25%	80	20%	9
2035	52%	6395	32%	96	24%	6

Tabla 7: Potencial de ahorro de costes y de reducción de emisiones de CO₂ de los ferris de electrificación rentable.

3.2.6 Análisis de sensibilidad para los ferris eléctricos de batería rentables

La adopción de baterías depende principalmente de los precios de la electricidad y de los combustibles. El análisis de sensibilidad para 2025, que representamos en el gráfico a continuación, muestra que un aumento del 25% en el precio de la electricidad reduce la viabilidad de las baterías en aproximadamente 10 puntos porcentuales, mientras que si el precio se reduce un 25% la viabilidad se incrementa en 11 puntos. Las exenciones regulatorias

tendrían una influencia significativa: excluir a los ferris pequeños (de arqueo bruto inferior a 5000 toneladas) de los objetivos del FuelEU reduciría la adopción de baterías en 8 puntos porcentuales, y una exención equivalente en el RCDE tendría un efecto similar, también de 8 puntos. Si se eliminan los impuestos sobre la electricidad, la adopción crecería en 7 puntos. El tipo de descuento tiene efectos moderados: una reducción de 3 puntos porcentuales incrementaría la viabilidad en 8, mientras que un aumento equivalente la reduciría en 7. Una disminución del 25% en el coste de la mezcla de combustibles conforme al FuelEU conlleva una reducción de 13 puntos porcentuales en la viabilidad de las baterías, mientras que un aumento del 25% la incrementa en 12 puntos. Los precios de las baterías y las tasas de carga, o tasa C, influyen en menor medida, entre 2 y 3 puntos.

Para 2035, la influencia de los precios y del consumo de electricidad decrece. En ese año, un aumento del 25% en el precio de la electricidad reduciría la viabilidad de las baterías en solo 7 puntos porcentuales, mientras que una reducción del 25% la mejoraría en 2 puntos. Asimismo, una reducción del 25% en el coste de la mezcla de combustibles conforme al FuelEU provocaría una caída de 12 puntos porcentuales en la viabilidad. En todo caso, el FEUM sigue siendo un parámetro clave. Si los ferris de arqueo bruto de más de 400 toneladas quedaran excluidos de la norma sobre combustibles, la proporción de nuevos buques eléctricos viables se reduciría del 52% al 36%.

3.2.7 Requisitos de potencia eléctrica en los puertos

Hemos analizado las necesidades adicionales de potencia y energía eléctrica que deberán afrontar los puertos para planificar la infraestructura de recarga. La demanda total anual de energía de los 474 buques eléctricos rentables de nueva construcción que se prevén para 2035 ascendería a 5,4 TWh. De ese total, aproximadamente el 68% (3,7 TWh) se consumiría en las rutas representativas evaluadas en el análisis. El 57% de los puertos solo tendría que instalar cargadores de menos de 5 MW y suministrar menos de 5 GWh de electricidad al año. Aunque las necesidades adicionales de energía eléctrica serían significativas, se sitúan en un orden de magnitud inferior a la demanda que T&E [había estimado al aplicar el reglamento AFIR](#), que ascendía a más de 5,3 TWh solo en los principales puertos.

La mayor parte de la demanda se concentra en un número reducido de puertos. Para 2035, los diez puertos con mayor consumo podrían representar una cuarta parte de la demanda eléctrica total de los ferris, si todos los buques técnicamente viables se electrificaran. Dover (379 GWh) y Calais (284 GWh) concentrarían el 14% del total, pese a que tan solo operan 12 ferris en conjunto. Se trata de buques relativamente grandes que cruzan el Canal varias veces al día, una configuración poco habitual, ya que en otras regiones los ferris que realizan múltiples trayectos diarios suelen ser embarcaciones más pequeñas. Otros puertos con elevado volumen de tráfico, como Algeciras, Świnoujście, Nápoles, Palermo y El Pireo, también superan los 130 GWh anuales de demanda eléctrica.

La siguiente tabla muestra la capacidad máxima estimada de los cargadores que sería necesaria en cada puerto, así como el consumo energético previsto para 2035.

La mayoría de los puertos requerirá menos de 5 MW de potencia de recarga

Intervalo de energía/potencia	0-2 GWh	2-5 GWh	5-10 GWh	10-50 GWh	50-100 GWh	100-400 GWh
0-2 MW	142	15	3	0	0	0
2-5 MW	67	30	17	6	0	0
5-10 MW	18	20	13	17	0	0
10-20 MW	13	5	13	21	0	6
20-30 MW	0	0	2	19	11	6

Fuente: T&E (2025) • Considerando 2035 como año de inicio. Los intervalos de potencia se basan en la potencia necesaria para recargar la batería. Los intervalos de energía se basan en la cantidad de energía consumida por los buques en sus rutas principales.

Debido a los ajustados tiempos de escala, la potencia máxima requerida no siempre guarda una relación directa con la demanda anual de energía. Por ejemplo, puertos insulares como Santa Cruz de La Palma (16 MW) o Heraclión (14 MW) necesitan conexiones de alta potencia a pesar de registrar un consumo anual relativamente bajo. Esto pone de relieve la importancia de que las escalas se planifiquen de forma eficiente para evitar refuerzos innecesarios y potencialmente costosos de la red eléctrica.

Como cabía esperar a la vista de los resultados de tráfico anteriores, la demanda se concentra especialmente en las rutas del canal de la Mancha, en las conexiones del mar Báltico y en los principales nodos mediterráneos. Por ello, una planificación de infraestructuras regional específica permitiría maximizar los beneficios y evitar inversiones excesivas en puertos con poca actividad.

3.2.8 Mejora de los parámetros de las baterías

En el escenario base, y tomando como referencia un inicio en 2030, nuestro modelo de optimización indica que hasta el 43% de los buques podría ser técnica y económicamente viable ya en 2030, y un 14% adicional sería viable únicamente desde el punto de vista técnico. En la tabla siguiente se muestran los resultados del escenario base y los que se obtienen al maximizar, por separado, cada uno de los parámetros de la batería respecto a los valores iniciales de 339 Wh/L (densidad energética volumétrica), 225 Wh/kg (densidad energética



gravimétrica) y una tasa C de 1,5 (velocidad de carga). Los resultados muestran que el principal cuello de botella para que más ferris puedan electrificarse técnicamente es la tasa C de la batería: muchos ferris realizan paradas breves a lo largo del día, lo que limita su capacidad de recarga. Sin introducir cambios operativos, un aumento de la tasa C permitiría cargar las baterías con mayor rapidez y, por tanto, ampliar la viabilidad. Si la tasa C de las baterías aumentara hasta un valor de 5, el 68% de los ferris podría ser técnicamente viable, de los cuales el 53% sería, además, económicamente viable en 2030, lo que supone un incremento de 11 y 10 puntos porcentuales, respectivamente, en comparación con el escenario base. En cambio, para 2030, las densidades volumétrica y gravimétrica dejarían de constituir limitaciones técnicas en nuestro modelo.

Variable incrementada	Densidad volumétrica (Wh/L)	Densidad gravimétrica (Wh/kg)	Tasa C de carga continua	Proporción de ferris técnicamente viables	Proporción de ferris económicamente viables
Escenario base	339	225	1,5	57%	43%
Densidad volumétrica	339	225	1,5	57%	43%
Densidad gravimétrica	339	225	1,5	57%	43%
Tasa C de carga	339	225	5	68%	53%
Todas las variables	339	225	5	68%	53%

Tabla 8: Análisis de sensibilidad de los parámetros de las baterías

3.3 Evaluación de los ferris eléctricos híbridos

3.3.1 Selección de buques

La muestra analizada es la misma que la del Apartado 3.2. De los 904 ferris que operan con combustibles convencionales y de los cuales se dispone de datos suficientes, se excluyeron 70 con horarios irregulares, por lo que la muestra se redujo a 834 buques potencialmente electrificables.

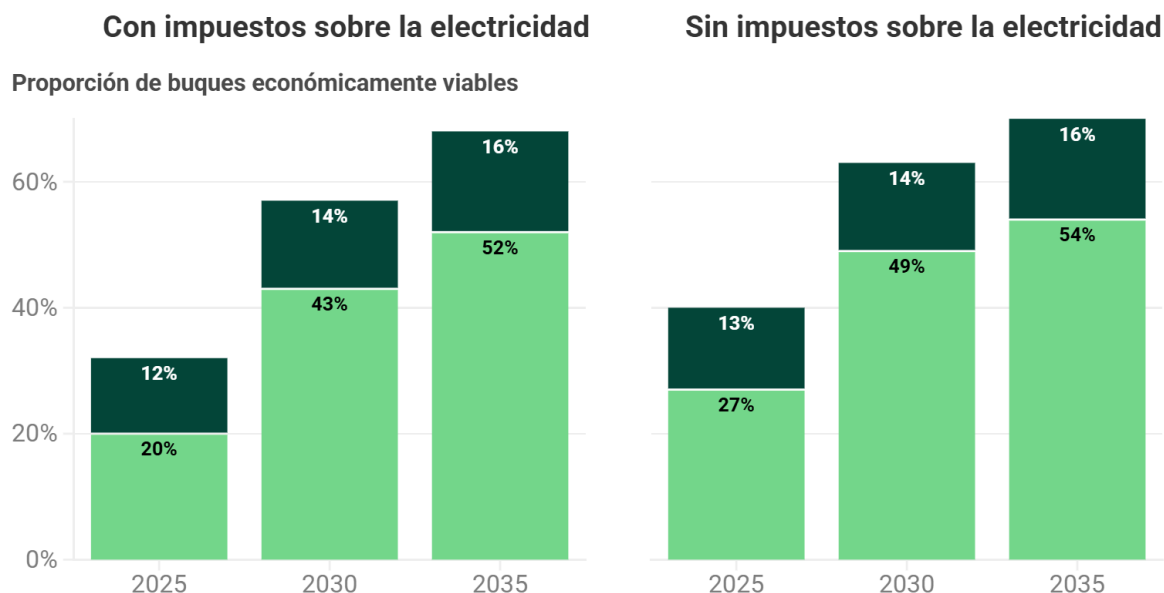
En el análisis establecimos como criterio priorizar la electrificación en su máximo grado posible. Por tanto, los buques técnicamente aptos para operar al 100% con baterías se modelizaron como totalmente eléctricos. Solo se modelizaron como híbridos aquellos buques que, con la tecnología actual, no resultarían técnicamente aptos para operar exclusivamente con baterías. Para estos últimos, se evaluó la viabilidad técnica y económica sobre la hipótesis de que entre el 50% y el 95% de la energía necesaria para completar una ruta representativa sería generada por la batería. Esta hipótesis se adoptó con el objetivo de maximizar la reducción de emisiones de GEI procedentes de los ferris. En nuestro modelo híbrido, los generadores diésel a bordo producen electricidad para alimentar los motores eléctricos y complementar la energía almacenada en las baterías, que se recargan durante el amarre.

3.3.2 Viabilidad técnica y rentabilidad de la flota

En el Apartado 3.2.2 concluimos que, en 2025 resultaría más económico para el 20% de las rutas de ferris europeas operar con buques de nueva construcción totalmente eléctricos que con buques de propulsión convencional. El análisis muestra, además, que un 12% adicional de los ferris sería técnica y económicamente viable como buque híbrido eléctrico, lo que elevaría al 32% la proporción de la flota europea que podría sustituirse por sistemas de propulsión total o parcialmente eléctricos ya en 2025. Para 2035, se estima que el 52% de los ferris serían económicamente viables en su nueva versión totalmente eléctrica. Además, un 16% adicional sería rentable como híbrido, lo que representa un 68% de toda la flota.

Los sistemas híbridos aumentan el potencial de electrificación hasta en 16 puntos porcentuales.

■ Eléctrica a baterías ■ Sistema híbrido



T&E (2025). Años de inicio: 2025, 2030 y 2035 (vida útil de 30 años). Las categorías pueden no sumar el total debido al redondeo.

El hecho de eliminar los impuestos sobre la electricidad suministrada en puerto tendría un impacto limitado en las cifras de viabilidad de los ferris híbridos ya que, aunque algunos buques que actualmente no se considerarían viables pasarían a ser híbridos, a su vez parte de los híbridos resultarían viables como totalmente eléctricos, pasando así a esta clasificación.

3.3.3 Viabilidad técnica y rentabilidad por país

Los resultados en términos de rentabilidad varían considerablemente entre países, principalmente debido a las diferencias en los patrones de navegación y en los precios de la electricidad. En 2025, la solución híbrida puede aumentar la proporción de buques económicamente viables entre 3 y 20 puntos porcentuales, según el país. Grecia, que ya presenta una elevada viabilidad para la electrificación total, apenas experimenta un incremento de 4 puntos porcentuales. En cambio, Italia, Alemania y España registran aumentos intermedios, de 16, 10 y 12 puntos, respectivamente. Por su parte, Noruega y Suecia podrían incrementar sus índices de viabilidad en 20 y 19 puntos, respectivamente. En estos países, la falta de viabilidad de algunos ferris se debe principalmente a que la tasa C de las baterías es demasiado baja. La opción híbrida aumenta la viabilidad al reducir las exigencias de recarga en puerto. Por último, tanto en Francia como en Reino Unido, 3 ferris podrían ser viables como híbridos. En ambos países, el 9% (Francia) y el 23% (Reino Unido) de los ferris serían técnicamente viables como híbridos; sin embargo, su rentabilidad se ve limitada por los elevados precios de la electricidad.

3.3.4 Ahorro de costes y reducción de CO₂

El ahorro de costes asociado a los buques híbridos es similar al de los buques totalmente eléctricos. No obstante, los híbridos siguen obligados a entregar derechos de emisión en el marco del RCDE y a adquirir combustibles alternativos bajos en carbono o renovables para el funcionamiento del generador de a bordo. Por otro lado, requieren menos electricidad suministrada en puerto y presentan menores gastos de inversión en baterías que los buques totalmente eléctricos. En cuanto a los buques híbridos rentables de nueva construcción que se prevén para 2025, se estima un ahorro del 14% en gastos de combustible y de RCDE a lo largo de su vida útil, equivalente al de los buques totalmente eléctricos. Para 2035, los buques puramente eléctricos podrían ahorrar un 32% en combustible y en gastos derivados del RCDE, mientras que el ahorro para los híbridos llegaría de media al 36%. Aunque los buques híbridos presentan menores gastos de capital, tendrían que seguir entregando derechos por las emisiones derivadas del consumo de combustible.

Para los ferris económicamente viables, el CTP alcanza su punto de equilibrio a los 16 años en el caso de los híbridos y a los 19 en los buques eléctricos construidos en 2025. A partir de 2035, estos plazos se reducen a aproximadamente 6 años en el caso de nuevos buques eléctricos y a 4 años en los nuevos buques híbridos. En cuanto a las emisiones de CO₂ durante la vida útil, los resultados difieren entre ambas tecnologías. En el caso de los buques

totalmente eléctricos, el ahorro pasa de un 8% de las emisiones totales de la flota en 2025 al 24% en 2035. Para los híbridos, el ahorro de CO₂ a lo largo de su vida útil aumenta del 10% hasta un máximo del 18% de las emisiones totales de la flota en 2035. Aunque la viabilidad económica de los híbridos es inferior a la de los totalmente eléctricos, su mayor tamaño medio hace que el ahorro total de CO₂ siga siendo significativo. Combinado con el potencial de electrificación total, el impacto conjunto podría reducir en un 42% las emisiones de CO₂ de la flota europea de ferris.

3.3.5 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad aplicado a la tecnología híbrida muestra resultados similares a los observados para los buques de baterías. Una exención del FEUM para los buques pequeños reduciría la viabilidad en aproximadamente 2 puntos porcentuales. Por el contrario, la exención de los impuestos nacionales sobre la electricidad tendría un efecto positivo modesto, inferior a 2 puntos.

Entre los parámetros cuantitativos, la demanda energética del buque es el factor con mayor sensibilidad: un aumento del 25% en la demanda de energía provocaría una disminución de 4 puntos porcentuales en la viabilidad, mientras que una bajada del 25% reduciría la viabilidad tan solo en un 1 punto. Los precios de la electricidad también surten efectos asimétricos relevantes: una reducción del 25% incrementaría la viabilidad en 2 puntos, mientras que un aumento equivalente reduciría la viabilidad en 4, lo que pone de manifiesto la vulnerabilidad del modelo ante incrementos de costes en el suministro. Cabe mencionar también la influencia del tipo de descuento, ya que una variación del 3% genera fluctuaciones aproximadas de 3 puntos al alza y a la baja. En conjunto, las exenciones regulatorias y los parámetros operativos, como la demanda energética y el precio de la electricidad, se perfilan como los factores más determinantes para la viabilidad de la tecnología híbrida.

3.3.6 Requisitos de potencia eléctrica en los puertos

En el caso de los ferris híbridos, se estima una demanda adicional anual de electricidad de 3 TWh, de los cuales 2,1 TWh corresponderían a las rutas representativas analizadas para 2035. En cuanto a la distribución por puertos y rutas, los patrones son similares a los que indicamos en el Apartado 3.2.7 respecto a los ferris de baterías, tanto en términos de demanda energética como de concentración geográfica. En concreto, el 34% de los buques requerirá menos de 5 GWh anuales y una potencia de carga de 5 MW. No obstante, dado que los ferris híbridos suelen ser de mayor tamaño, sus necesidades de potencia son asimismo mayores, de modo que en 55 puertos se necesitarían más de 20 MW. Cabe señalar que esta demanda sería adicional a la infraestructura de recarga necesaria para la mayoría de los ferris totalmente eléctricos. En la práctica, los requisitos reales de potencia dependerán tanto de la potencia requerida por cada buque como de su grado de hibridación. En cualquier caso, la demanda adicional de potencia máxima asociada a los híbridos de mayor tamaño debería considerarse

de forma específica de cara a la planificación de ampliaciones de la red eléctrica.

Los ferris híbridos requieren cargadores de mayor tamaño y más potencia

Intervalo de energía/potencia	0-2 GWh	2-5 GWh	5-10 GWh	10-50 GWh	50-100 GWh	100-400 GWh
0-2 MW	25	0	0	0	0	0
2-5 MW	32	4	0	0	0	0
5-10 MW	6	4	0	2	0	0
10-20 MW	21	8	9	14	1	0
20-30MW	1	4	2	37	9	2

Fuente: T&E (2025) • Considerando 2035 como año de inicio. Los intervalos de potencia se basan en la potencia necesaria para recargar la batería. Los intervalos de energía se basan en la cantidad de energía consumida por los buques en sus rutas principales.



3.4 Evaluación de electrocombustibles y biocombustibles

Llevamos a cabo un análisis del CTP para varios electrocombustibles y biocombustibles, y los resultados se compararon con los que obtuvimos al modelizar ferris de baterías y ferris híbridos. Simulamos la operación de ferris con metanol renovable, amoniaco renovable, hidrógeno renovable líquido (e-LH2) y biocombustible (HVO). Los resultados se contrastaron con un escenario base en el que se utiliza una mezcla de combustibles conforme al FuelEU, compuesta por diésel marino (MDO), biodiésel (FAME) y HVO, o bien por GNL y biometano, según el combustible que actualmente utilizara cada buque.

Se asumió que el metano renovable, el amoniaco renovable y el HVO se emplearían en motores de combustión interna (ICE). En el caso del e-LH2, se modelizó su uso mediante pilas de combustible de óxido sólido. Esta tecnología constituye una opción prometedora en el ámbito del transporte para aprovechar el hidrógeno como vector energético. No obstante, también están ganando desarrollo y disponibilidad los motores de combustión interna de hidrógeno en configuración de combustible dual (o *dual-fuel*).

3.4.1 Viabilidad técnica

De forma similar a como procedimos en los Apartados 3.2 y 3.3 para evaluar la viabilidad de los ferris eléctricos, hemos evaluado la viabilidad técnica de los combustibles alternativos en función de si los buques podían completar una ruta representativa con la tecnología estudiada.



Aplicamos dos criterios: la capacidad de almacenamiento de combustible en el buque y la energía necesaria para completar la ruta representativa.

Para la capacidad de almacenamiento, partimos de la hipótesis de que se podría contar con el volumen actual de los tanques para el metanol y el amoníaco renovables y para el HVO. En cuanto al e-LH2, aunque las pilas de combustible ocupan menos espacio que un motor de combustión interna, el almacenamiento del hidrógeno requiere equipamiento adicional. Para estimar el espacio disponible, utilizamos una fórmula empírica basada en la potencia del motor (ver Anexo 3.6.2 [en inglés]).

Para los nuevos buques de 2025, se determinó que 679 de los 904 ferris serían técnicamente viables con e-LH2. El resto se desestimó porque no fue posible calcular con precisión el volumen disponible para los tanques de hidrógeno (ver Anexo 3.2.2 [en inglés]). En cuanto al resto de combustibles, 890 de 904 buques son técnicamente viables. Esos 14 buques fueron excluidos por tener tanques de volumen inferior a 10 metros cúbicos, el umbral mínimo que fijamos para el estudio. En general, todos los ferris disponen de espacio suficiente para transportar el combustible necesario para sus rutas más exigentes, ya que suelen operar en trayectos relativamente cortos en relación con su tamaño, lo cual limita sus necesidades energéticas en comparación con otros tipos de buques.

3.4.2 Viabilidad económica

En el caso de los buques construidos en 2025, la viabilidad económica de los electrocombustibles y biocombustibles depende de si el aumento de CAPEX y del precio del combustible puede compensarse con un menor coste en el RCDE. En el escenario base, ningún combustible alternativo resulta económicamente competitivo frente a la opción de referencia, que consiste en mezclar combustible fósil (GNL o MDO) con una proporción creciente de biodiésel o biometano. Los precios actuales del RCDE son demasiado bajos para compensar el incremento de los costes de combustible y de capital. Al modelizar un ferri que opera exclusivamente con biocombustibles frente al escenario base, los costes de combustible resultan superiores a los de una mezcla de MDO y HVO, por lo que la opción no es económicamente competitiva.

Sin embargo, para buques construidos en 2035, el 76% de los ferris sería viable y competitivo con amoníaco renovable y el 28% con e-LH2. Estos resultados se explican por varios factores: el aumento previsto del precio del RCDE; la necesidad de incorporar mayores proporciones de biocombustibles para cumplir los objetivos de intensidad de carbono del FuelEU; y la reducción estimada del coste de los electrocombustibles. Además, en el caso del e-LH2, la mayor eficiencia de las pilas de combustible frente a los motores de combustión interna permite emplear menos combustible para generar la misma energía útil. Por otro lado, estos resultados no incluyen los posibles costes adicionales asociados al equipamiento de seguridad necesario para operar con estos combustibles.

3.4.3 Análisis de sensibilidad

Hemos aplicado los mismos análisis de sensibilidad que para los ferris eléctricos, expuestos en los Apartados 3.2 y 3.3, excepto con relación a la capacidad de las baterías y a la potencia de recarga. Además, incorporamos una prueba más que consiste en aumentar el número de viajes que un buque puede realizar antes de tener que repostar.

Para un buque construido en 2035, el análisis muestra diferencias significativas en la viabilidad económica de los distintos combustibles alternativos frente al escenario estándar. El amoniaco renovable es la opción más viable, con la que un 76% de los ferris resultarían competitivos en costes bajo las hipótesis del escenario base. El hidrógeno verde alcanza una viabilidad del 28%, debido principalmente a sus mayores costes de combustible y al elevado CAPEX asociado a las pilas de combustible. Por el contrario, el metanol renovable y el HVO no resultan económicamente viables ni en el escenario base ni en ninguno de los escenarios de sensibilidad analizados.

Los resultados son especialmente sensibles a las variaciones en los precios del combustible del escenario base: una reducción del 25% en el coste del combustible fósil empleado en la mezcla de referencia reduciría la viabilidad económica al 0% en el caso del amoniaco y caería al 7% con respecto al e-LH2. En cambio, un aumento del 25% en el precio podría elevar la viabilidad del e-LH2 hasta el 50% de la flota, y la del amoniaco verde hasta el 84%. Estos resultados ponen de relieve la elevada incertidumbre de las proyecciones: aunque los electrocombustibles pueden desempeñar un papel relevante en la descarbonización de los ferris, su viabilidad económica bajo el marco regulatorio actual depende en gran medida de que se reduzca la brecha de costes frente a los combustibles fósiles y los biocombustibles.

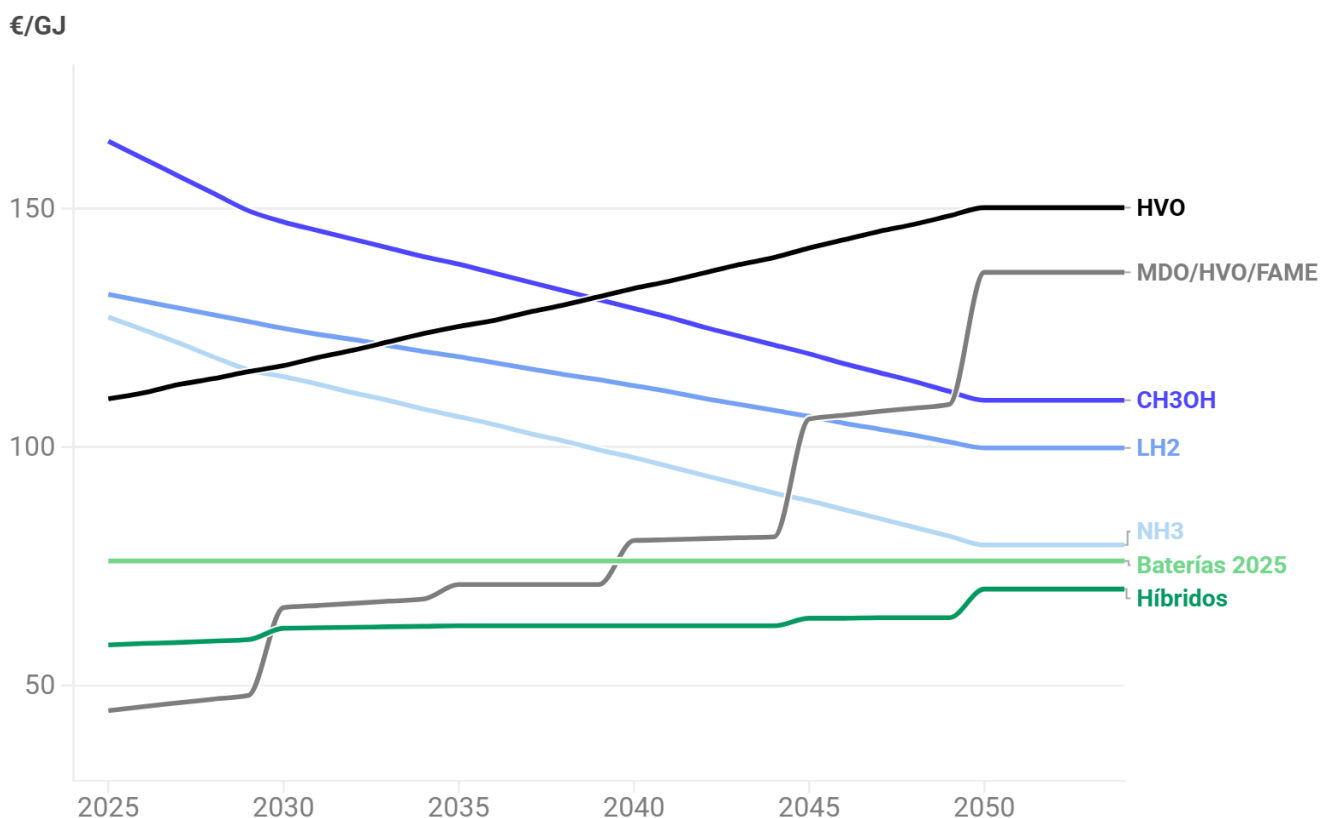
3.4.4 Comparación entre tecnologías

Hemos comparado los costes anualizados por gigajulio (GJ) de energía utilizada entre las distintas tecnologías. Para cada ferri técnicamente viable, hemos sumado los costes operativos (OPEX) anuales y el CAPEX medio, previamente anualizado y distribuido de forma uniforme a lo largo de toda la vida útil del buque. A continuación, calculamos el valor medio por tecnología considerando todos los buques técnicamente viables para la tecnología en cuestión. Dado que se asume un precio constante de la electricidad y que el CAPEX se reparte de manera uniforme en el tiempo, el coste por gigajulio de los ferris totalmente eléctricos se mantiene constante. En cambio, para la mezcla de referencia MDO/HVO/FAME, el coste aumenta a medida que se incrementan las previsiones de precio del HVO, del FAME y del RCDE, así como por el endurecimiento progresivo de los objetivos del FEUM. Asimismo, se espera que los precios de los electrocombustibles disminuyan en el futuro, tanto por la mayor madurez tecnológica como por las actuales limitaciones de oferta, mientras que el HVO de origen residual podría encarecerse debido al aumento de la demanda y a la escasa capacidad de

incrementar su producción.

Los electrocombustibles superarán a la mezcla MDO-HVO en 2050

Costes anualizados de los combustibles seleccionados



Fuente: T&E (2025) • Las curvas de costes incluyen el OPEX anual y el CAPEX anualizado. Fecha de inicio: 2025

Entre las tecnologías analizadas, los ferris híbridos y los de baterías resultan ser las opciones más económicas, con un coste estimado para 2050 de 69 €/GJ y 73 €/GJ, respectivamente. Para 2040, se prevé que los costes de los ferris eléctricos sean inferiores a los del escenario base. Para 2045, también se espera que el amoníaco renovable resulte más barato que la referencia. De hecho, es el electrocombustible más competitivo, con un coste estimado de 79 €/GJ para 2050.

Apartado 4

4. Conclusiones y recomendaciones

Los ferris prestan servicios esenciales a la ciudadanía europea. Sin embargo, el análisis muestra que también son responsables de una parte significativa de la contaminación atmosférica en zonas portuarias densamente pobladas.

Más allá de la calidad del aire, la electrificación ofrece una oportunidad única para reducir de forma sustancial las emisiones de GEI: actualmente, el 20% de los ferris de la UE resultaría más rentable en su versión a baterías, proporción que aumentaría hasta el 52% en 2035. En cuanto a las soluciones híbridas, se elevaría este potencial al menos al 32% en 2025 y al 68% en 2035.

Reformas principales que deben aplicarse en la política de la UE para facilitar esta transición y apoyar a la industria europea.

1 Ampliar el ámbito de aplicación del RCDE y del FuelEU Maritime a los buques de arqueo bruto superior a 400 toneladas, garantizando así la cobertura de los segmentos de ferris con mayor potencial de electrificación.

El 80% de las travesías anuales las realizan buques de arqueo bruto de entre 400 y 5000 toneladas, los cuales presentan un elevado potencial de electrificación y requieren infraestructuras portuarias de menor escala para su adaptación. Incluir estos ferris de menor tamaño en las próximas revisiones legislativas permitiría equilibrar las condiciones de competencia, aumentar cerca de un 10% la proporción de ferris electrificados, aumentar los ingresos disponibles para su reinversión y aportar seguridad jurídica a los proyectos que ya están en desarrollo.

2 Ampliar el alcance del Reglamento sobre infraestructuras para combustibles alternativos (AFIR) más allá de las obligaciones relativas al suministro eléctrico en puerto para incluir también infraestructuras de recarga para buques.

Muchos puertos están planificando e invirtiendo en sus redes e infraestructuras para cumplir con los requisitos de conexión eléctrica en puerto establecidos por el AFIR. La inclusión explícita de infraestructuras de recarga marítima podría fomentar oportunidades de coinversión, anticipar la futura demanda derivada de los buques eléctricos y evitar duplicidades en los planes de ampliación de la red en los puertos clave de la RTE-T, en particular para los buques de arqueo bruto inferior a 5000 toneladas.

3

Revisar las normas de contratación pública de la UE para garantizar un uso sostenible de los recursos públicos, como la introducción de estándares de cero emisiones.

Aunque los ferris de menor tamaño todavía no están plenamente cubiertos por la normativa climática de la UE, con mayor frecuencia operan en el marco de contratos públicos, subvenciones u obligaciones del servicio público. Esto supone una oportunidad clave para orientar la demanda en este segmento y generar beneficios adicionales para las poblaciones locales. La reforma de la contratación pública en la UE debería incorporar requisitos vinculantes de contenido local, así como criterios de resiliencia que fomenten productos y prácticas sostenibles. Impulsar la demanda a través de la contratación pública permite crear las condiciones de mercado necesarias para productos descarbonizados y facilitar economías de escala que reduzcan costes y aumenten su accesibilidad, en línea con el enfoque adoptado en la Ley sobre la industria de cero emisiones netas.

4

Integrar la producción de baterías marinas en los objetivos estratégicos de capacidad de producción de baterías a través de la Estrategia industrial marítima de la UE, entre otras vías.

Las industrias europeas de construcción naval y de equipos marítimos cuentan con una ventaja competitiva en el desarrollo de buques y tecnologías complejas y a medida. La electrificación de los puertos europeos y del transporte marítimo de corta distancia y de cabotaje reduciría la dependencia de Europa de los combustibles fósiles importados, reforzaría la resiliencia energética de la UE y contribuiría a mantener empleos industriales de alto valor añadido. Además, el transporte marítimo eléctrico de corta distancia puede desempeñar una doble función al poder destinarse tanto a fines civiles como militares.

En el marco normativo vigente, los gobiernos nacionales y regionales ya pueden valerse de algunos instrumentos clave:

5

Aplicar los criterios MEAT (oferta económicamente más ventajosa) y de CCPV (compra y contratación pública verde).

La normativa vigente en materia de ayudas estatales ofrece una serie de criterios de sostenibilidad de carácter facultativo. Pueden incorporarse criterios de cero emisiones en el marco del procedimiento de la «oferta económicamente más ventajosa» (MEAT). Cuando las autoridades no participen directamente en el proyecto, pueden establecer foros de coordinación que conecten a las partes interesadas pertinentes y faciliten una planificación integrada entre los propietarios de ferris, los operadores de la red eléctrica y las autoridades portuarias.

6

Reducir los impuestos y gravámenes nacionales sobre la electricidad suministrada a los buques, tal y como ya permite la Directiva sobre fiscalidad de la energía.

Más allá del suministro eléctrico en puerto, el precio de la electricidad y la fiscalidad asociada constituyen factores determinantes para la electrificación. La reducción de los impuestos nacionales sobre la electricidad suministrada en puerto puede apoyar de forma inmediata el despliegue de ferris eléctricos y contribuir a establecer condiciones de competencia equitativas entre las distintas fuentes de energía, permitiendo que la electrificación aproveche su mayor eficiencia energética intrínseca.

7

Ampliar las Zonas de Control de Emisiones (ECA) a las regiones ultraperiféricas y eliminar las exenciones específicas por ruta.

Los puertos más contaminados de Europa se encuentran sistemáticamente fuera de las Zonas de Control de Emisiones, en regiones ultraperiféricas de la UE que quedan exentas. Estas exenciones privan a dichas comunidades de los beneficios de tecnologías más limpias ya disponibles, como los combustibles de baja contaminación y la propulsión eléctrica, tanto total como híbrida.