



moeve

¿Por qué Europa necesita moléculas verdes?

Acelerar la descarbonización de la industria y el transporte pesado es clave para la independencia energética europea y su competitividad industrial

Índice

Carta de bienvenida		03
Resumen ejecutivo		04
La revolución de las moléculas verdes		09
Adopción progresiva de moléculas verdes		13
Explorando el impacto del green premium		17
Asegurando la adopción de moléculas verdes		18
Moléculas verdes para impulsar la estrategia europea		24
Impulsando la descarbonización europea: el auge de las moléculas verdes		26
01		
1.1. La humanidad enfrenta la revolución energética del siglo en un entorno macroeconómico incierto		27
1.2. Un problema de esta magnitud requiere una combinación de soluciones tecnológicas adaptadas a cada uso final		30
1.3. Explorando la naturaleza de las moléculas verdes: una inmersión completa		32
Desbloqueando el poder de las moléculas verdes		34
02		
2.1. Un camino para reemplazar el 40-50% de la demanda de combustibles fósiles y descarbonizar el 20-25% de las emisiones de la Unión Europea para 2050		35
2.2. Navegando hacia mares sostenibles con transporte marítimo verde		40
2.3. Soluciones SAF para una aviación más verde		47
2.4. Transformando el transporte por carretera con diésel renovable y celdas de combustible		55
2.5. Industria verde: hidrógeno para materias primas verdes y procesos térmicos difíciles de descarbonizar		62
Aprovechando el impulso: Acelerando la reducción de emisiones en sectores difíciles de descarbonizar		78
03		
3.1. Jerarquía de adopción de moléculas verdes		79
3.2. Ventaja de coste de las moléculas verdes sobre los combustibles convencionales		84
Competitividad de las moléculas verdes en el sector marítimo		85
Competitividad del SAF		86
Competitividad de las moléculas verdes en el transporte por carretera		87
Competitividad de las moléculas verdes en la industria		88
3.3. Green premium: explorando el impacto del green premium en los precios percibidos por los usuarios finales		89
Lo que se necesita para desbloquear la industrialización verde de Europa		92
04		
4.1. Afrontar un desafío importante aprovechando la infraestructura existente, los recursos naturales y los usos actuales de la demanda		93
4.2. Barreras y desafíos para acelerar la adopción de moléculas verdes		99
4.3. Impulsar el crecimiento: potenciar la creación de empleo y el avance económico con moléculas verdes sostenibles		102
4.4. Contabilizando los costes: las consecuencias de no descarbonizar		105
Moléculas verdes, el impulso de la estrategia europea		108
05		
Anexos		114
06		
6.1. Hipótesis de costes		115
6.2. Glosario		116
6.3. Fuentes de datos		117

Carta de bienvenida

La transición energética es una de las transformaciones más importantes de nuestro tiempo. En 2025, el consumo mundial de energía creció un 3%, impulsado por la creciente demanda de vehículos eléctricos y centros de datos. Ese mismo año, la energía solar se convirtió, por primera vez en la historia, en el principal motor del crecimiento del suministro energético mundial, al representar más de una cuarta parte del crecimiento de la demanda global de energía, según la Agencia Internacional de Energía (AIE). La transición energética abre la oportunidad de accionar tres palancas claves para el futuro de Europa: descarbonizar la economía, ganar independencia energética y aumentar su competitividad industrial; de hecho, gracias a las renovables, la UE ahorra en energía 30.000 millones de euros anuales. Para activar estas tres palancas no solo son necesarias las energías renovables basadas en electrones (solar, eólica) sino que, como veremos en este informe, dependen en buena medida de la producción y adopción rápida de nuevas energías basadas en moléculas verdes, como son el hidrógeno verde y sus derivados, biocombustibles 2G, biometano y productos químicos sostenibles. En Moeve preveemos que estas energías representen entre el 25% y 33% del mix europeo en 2050. Para alcanzar estas metas, la transición energética necesita de una colaboración sin precedentes entre el sector privado, las instituciones públicas y la sociedad civil. La era de marcar objetivos ha terminado; ahora comienza la era de pasar a la acción.

Actualmente, el mayor desafío global son los riesgos ocasionados por los crecientes conflictos geopolíticos y las disrupciones en las cadenas de suministro energético, tal y como muestran los casos de Ucrania o Irán. En este contexto, la seguridad de suministro y la independencia energética pasan a primer plano como una necesidad estratégica que permita reducir la vulnerabilidad exterior y garantizar una energía fiable y competitiva.

Desde Moeve pronosticamos que, para 2040, las moléculas verdes podrán sustituir aproximadamente entre un 20% y un 40% de la demanda actual de combustibles fósiles en Europa. El despliegue de las moléculas verdes permitiría reducir la dependencia energética exterior de la Unión Europea en un 50%, hasta situarla en el 28%. Reducir esa dependencia no solo podría reforzar la estabilidad energética del continente, sino también desarrollar una nueva industria que, según ManpowerGroup, generará 1,7 millones de empleos nuevos y un aumento de 145.000 millones de euros del PIB europeo.

Adicionalmente, el Global Risk Report del World Economic Forum de 2026 señaló que, en el horizonte a diez años, 5 de los 10 principales riesgos globales están relacionados con el cambio climático y el medio ambiente. En este sentido, sin la integración de moléculas verdes en el mix energético será imposible alcanzar los objetivos del Acuerdo de París y lograr la neutralidad de carbono para 2050. Las moléculas verdes son cruciales para sectores difíciles de descarbonizar (como la industria intensiva, aviación, transporte marítimo y camiones de larga distancia), donde la electrificación por sí sola no es viable.

En este informe presentamos una recopilación de los últimos informes de consultoras y organismos internacionales sobre el desarrollo de las moléculas verdes y la gama de soluciones disponibles, destacando su papel fundamental y la posición estratégica de la Unión Europea para liderar estas tecnologías y lograr así una transición energética rentable y segura.

Estamos sentando en esta década las bases necesarias para construir una plataforma sólida que permita un despliegue acelerado del hidrógeno en la siguiente. Actuar ahora es clave para desarrollar la infraestructura necesaria para alcanzar la escala que se necesitará en el futuro. En este sentido, desde Moeve estamos desarrollando el que será el mayor proyecto de hidrógeno verde de Europa, así como el mayor complejo de biocombustibles 2G del sur de Europa, actuando como verdaderos “market makers” capaces de adelantarnos al mercado y abrir el camino para que otros actores se sumen.

Nuestro compromiso es claro, basarnos en hechos, construir alianzas e impulsar proyectos que fomenten un impacto positivo en las personas y en el planeta, a través del desarrollo de cadenas de valor para la generación de una nueva industria que no solo permita la reducción de las emisiones, sino que además sienta las bases para favorecer la independencia energética en Europa y su competitividad industrial.

Maarten Wetselaar, CEO de Moeve



Resumen ejecutivo

El mundo se encuentra en un momento clave en el panorama energético global, marcada por conflictos geopolíticos y disrupciones en las cadenas de suministro energético, que han evidenciado la vulnerabilidad de muchos países derivada de su dependencia exterior. En este contexto, la transición energética ya no responde únicamente a la necesidad de avanzar en la lucha contra el cambio climático, sino también a un imperativo estratégico: reforzar la seguridad de suministro, reducir la exposición a la volatilidad de precios de los combustibles fósiles y consolidar una industria propia, competitiva y resiliente.

La Unión Europea está liderando esta transición energética como una oportunidad de ganar independencia e impulsar la competitividad de su industria. Esto se debe a que, en este entorno en constante cambio y tensiones geopolíticas, Europa no podrá crecer ni competir a nivel global sin una industria que pueda desarrollarse con energías producidas localmente. Las moléculas permitirían cubrir las emergentes necesidades de soberanía energética y transformar la descarbonización en un motor de crecimiento industrial, permitiendo a Europa obtener una ventaja competitiva.

Existe una idea cada vez más consolidada: la competitividad de Europa no podrá despegar mientras mantenga dependencias externas que terceros puedan utilizar como instrumento de presión política o estratégica, tal y como se ha puesto de manifiesto en los conflictos más recientes. Como ha señalado Enrico Letta “no existe Europa sin industria, no existe seguridad sin resiliencia financiera y no existe seguridad sin independencia energética”.



Esta visión se enmarca en un contexto de aceleración de los compromisos internacionales vinculados a la transición energética, que promueven el avance en la desaparición progresiva de los combustibles fósiles, cuadruplicar el uso de combustibles sostenibles para 2035, triplicar la capacidad global de energía renovable para 2030 y limitar el calentamiento global a 1,5°C, reforzando la necesidad de impulsar un sistema energético más seguro, competitivo y sostenible.

Alineada con estos objetivos globales, la estrategia europea se observa en iniciativas como el “Green Deal”, el “Clean Industrial Deal” y más recientemente el “Industrial Accelerator Act”, que impulsan no solo la producción sino también la demanda de productos y tecnologías bajas en carbono, basándose en tres principios fundamentales: Asequibilidad Energética, Seguridad de Suministro y Sostenibilidad Ambiental. Este proceso transformador depende en buena medida de la creciente contribución de las moléculas verdes, particularmente en sectores difíciles de descarbonizar, donde la electrificación directa puede no ser una solución viable o incluso siendo viable, no es la opción más ventajosa para el consumidor. En este sentido, las energías renovables y las moléculas verdes juegan un papel crucial en la descarbonización y son imprescindibles para alcanzar los objetivos de cero emisiones netas.

Para lograr esta reducción de dependencia energética y disminuir las importaciones de combustibles fósiles, la Unión Europea pretende aumentar la participación de energías renovables en el mix desde el 25,4% en 2024 hasta el 42,5% (con un 2,5% complementario) para 2030, según la última Directiva de Energía Renovable (RED III). Este enfoque asegura unos precios más estables y competitivos en comparación con los recursos afectados por la volatilidad de los combustibles fósiles en el mercado global, al tiempo que contribuye a la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, esto no será suficiente; la Unión Europea no será capaz de alcanzar los objetivos de descarbonización del Acuerdo de París sin promover también el rápido despliegue de energías basadas en moléculas verdes capaces de descarbonizar sectores que podrían ser difíciles de electrificar. Los conflictos geopolíticos, como los de Ucrania, Israel e Irán, están acelerando la reforma del sistema energético de la Unión Europea (UE), con las moléculas verdes desempeñando un papel cada vez más importante en este contexto de transición energética en evolución. En los últimos años, la





UE ha promulgado varias políticas, como el “Green Deal”, el REPowerEU, el Paquete Fit for 55, el Clean Industrial Deal, la Directiva de Energía Renovable (RED III), el EU Competitiveness Compass o el Affordable Energy Action Plan entre otros, para proporcionar las directrices necesarias para avanzar en la descarbonización y lograr el objetivo de reducción de emisiones del 55% para 2030 y del 90% para 2040 en comparación con los niveles de 1990, así como la neutralidad climática para 2050. Ahora, la urgencia se centra en traducir estas políticas en acción para acelerar la transición hacia un futuro energético sostenible.

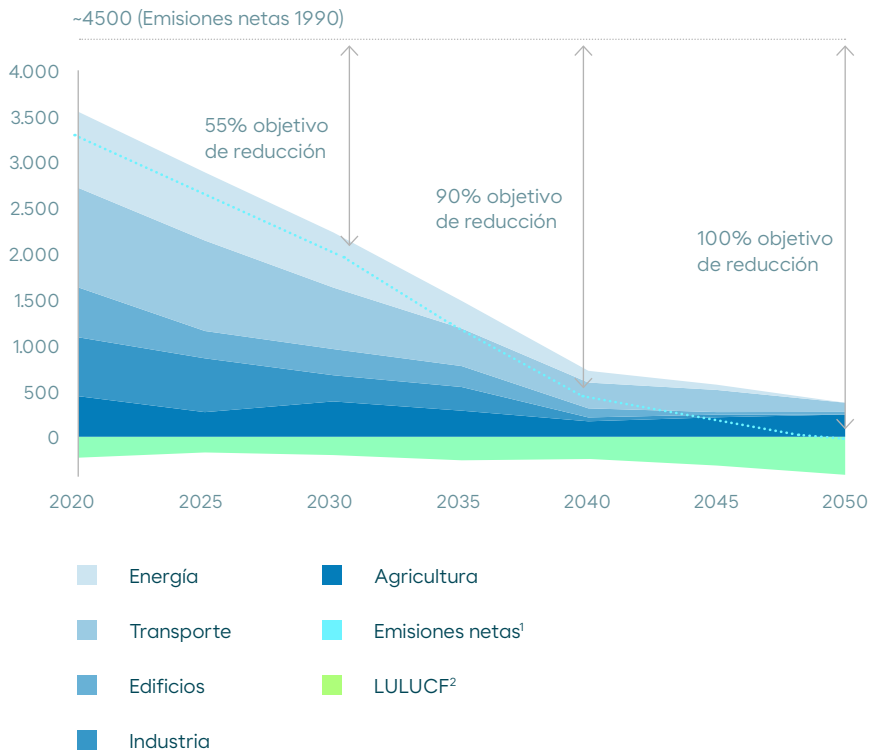
El objetivo climático para 2040, aprobado a comienzos de 2026, pone de manifiesto el objetivo de que la transición energética avance a un ritmo cada vez más acelerado. En este contexto, las moléculas verdes permiten avanzar en la transformación al aprovechar parte de la infraestructura energética existente y, con ello, reducir una parte significativa de las inversiones que serían necesarias en un escenario basado exclusivamente en la electrificación¹. Esto no solo facilita una transición más rápida y eficiente, sino que también contribuye a mitigar su impacto económico sobre los consumidores.



Los biocombustibles 2G representan una solución inmediata y práctica para descarbonizar la Unión Europea, sirviendo como puente en la transición hacia los combustibles sintéticos, hasta que estos maduren, para su implementación a medio y largo plazo.

¹ “Market Activation Strategy”, (2025), Global Hydrogen Mobility Alliance

Figura 1 Proyección de emisiones de CO₂ en la Unión Europea por sector (Mt)



Principales impulsores de la descarbonización



Medidas del lado de demanda y circularidad



Biomasa y biocombustibles



Eficiencia energética



Captura y almacenamiento o uso de carbono



Electrificación y energía con neutralidad de carbono



Cambios en el uso de la tierra o en las prácticas agrícolas



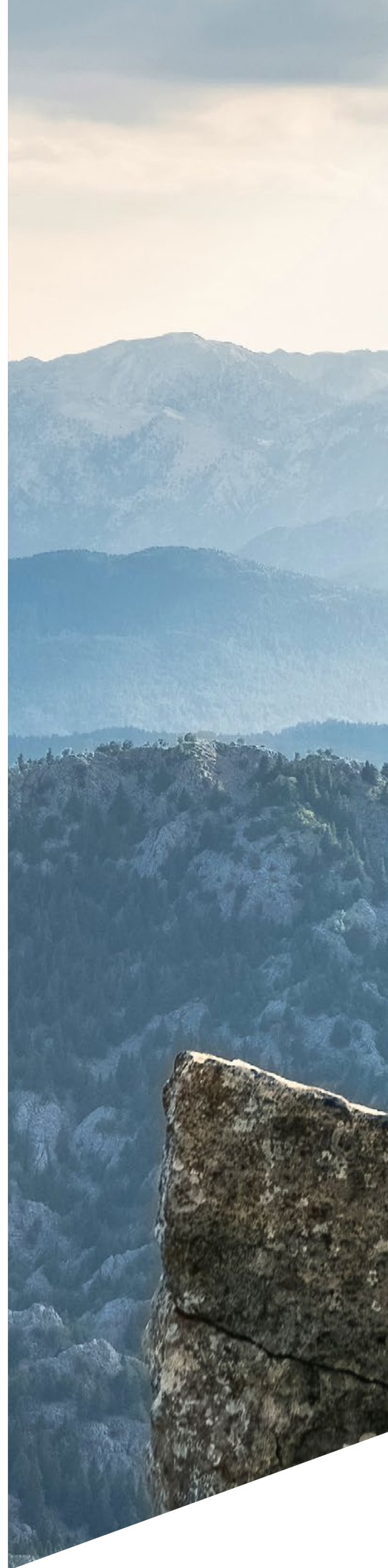
H₂ neutro en carbono como combustible o materia prima



Otras innovaciones

Notas: 1) Incluye tecnologías de absorción; 2) Se refiere al uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura, que abarca todas las formas en las que el CO₂ atmosférico puede ser capturado o liberado como carbono en la vegetación y los suelos de los ecosistemas terrestres.

Fuente: análisis de Moeve basado en McKinsey





La revolución de las moléculas verdes

Los combustibles fósiles representaron en 2024 aproximadamente el 68%² del mix energético, y las materias primas fósiles más del 90% de los suministros químicos. Las moléculas verdes serán fundamentales para su sustitución, pero también para reducir la dependencia energética de la Unión Europea, que en 2024 alcanzaba el 57% de la demanda total.

La electrificación directa, que abarca soluciones como la energía solar fotovoltaica, las bombas de calor, las calderas eléctricas, los calentadores y los vehículos eléctricos, entre otros, se distingue por su alta eficiencia energética y su avanzado grado de madurez tecnológica. Por otro lado, las moléculas verdes, empleadas tanto en biocombustibles 2G como en combustibles sintéticos con electrificación indirecta (hidrógeno verde y sus derivados), presentan características específicas que las hacen especialmente adecuadas para descarbonizar sectores donde la electrificación directa no es una opción viable. Estos sectores, conocidos como sectores difíciles de descarbonizar, incluyen, por ejemplo, ciertas industrias como la química, la de minerales no metálicos, la del acero o la del refino, y el transporte de larga distancia, principalmente aviación, transporte marítimo y el transporte por carretera de carga pesada, que representan aproximadamente una de cada tres (31%) de las emisiones totales de la Unión Europea y el 20-25% de la demanda energética primaria europea, según datos de Eurostat y la Agencia Europea de Medioambiente.

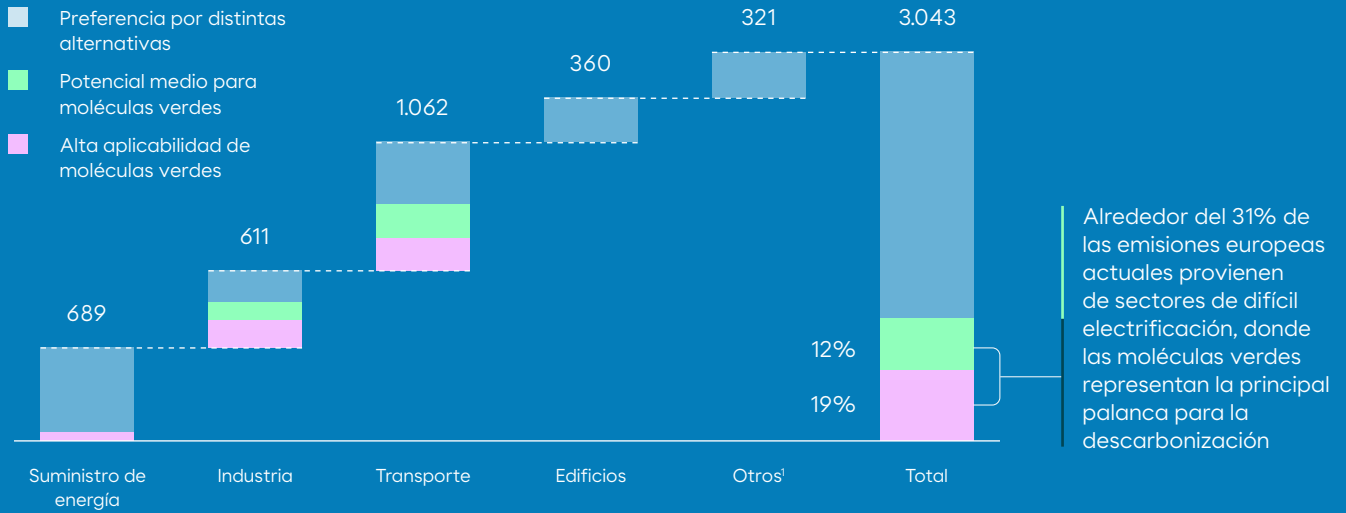
Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de los sectores difíciles de descarbonizar tienen un impacto proporcionalmente mayor en la Unión Europea que a nivel global, lo que subraya la urgencia de acelerar la transición energética en el contexto europeo.

² "Energy Balance", (2024), Eurostat

Mientras la Unión Europea está logrando avances significativos en el desarrollo de la energía solar y eólica, reduciendo así un 48% las emisiones de gases de efecto invernadero en la generación de electricidad y calor en 2023 en comparación con 1990, el resto del mundo todavía depende en gran medida del carbón, el petróleo y el gas natural para la generación de electricidad y calor, con un aumento del 97% en las emisiones en el mismo período, según Our World in Data³. Dado este contexto, acelerar el desarrollo de moléculas verdes es clave para que la Unión Europea logre los objetivos de descarbonización establecidos y facilite la transición hacia una economía neutra en carbono.

Figura 2 Emisiones de la Unión Europea por sector (MtCO₂eq, 2024)

Palancas de descarbonización más probables



Sectores con alta-media aplicabilidad de moléculas verdes para su descarbonización

- Refino de petróleo
- Químicos
- Marítimo
- Hierro y acero
- Aviación
- Minerales no metálicos
- Camiones pesados

Notas: 1) Agricultura y otros sectores minoritarios

Fuentes: Agencia Europea de Medio Ambiente



Las moléculas verdes ofrecen una vía transformadora para la descarbonización de sectores difíciles de abatir, que actualmente representan aproximadamente el 31% de las emisiones totales de la Unión Europea.

³ "Breakdown of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide emissions by sector", Our World in Data

Las moléculas verdes se pueden clasificar en dos categorías principales: basadas en biomasa y basadas en hidrógeno (también conocidas como combustibles sintéticos), dependiendo de los compuestos necesarios para su síntesis. Las moléculas verdes de segunda generación basadas en biomasa, que ya están en uso, involucran combustibles o materias primas químicas más sostenibles como el biometano, el biometanol o el diésel renovable, entre otros, y derivan de materias primas como residuos orgánicos, biomasa o residuos de la agricultura y la ganadería.

Por otro lado, las moléculas verdes basadas en hidrógeno o combustibles sintéticos, son compuestos de origen no biológico producidos utilizando hidrógeno verde a través de energía renovable⁴ junto con CO₂ o N₂. Aunque todavía están en las primeras etapas de desarrollo en comparación con los biocombustibles, se espera que los rápidos avances posicionen a los compuestos basados en hidrógeno como una alternativa relevante en la descarbonización a medio y largo plazo. A menudo se les denomina “power to X”, que son tanto portadores de energía (para combustibles) como de materias primas químicas.



Las moléculas verdes son la principal palanca para la descarbonización de los sectores difíciles de abatir, y podrían llegar a reducir hasta un 22% de las emisiones de Europa para el año 2050.

Los usos de las moléculas verdes en los sectores difíciles de descarbonizar también pueden agruparse en dos. El primer uso incluye su aplicación como materia prima, aprovechando las propiedades químicas del hidrógeno verde para facilitar la producción de compuestos como el e-amoniaco, fertilizantes, metanol verde (tanto biometanol como e-metanol), así como su uso en procesos de refinado y como agente reductor en la fabricación de acero. En segundo lugar, las moléculas verdes se utilizan como combustibles, abarcando tanto el hidrógeno y sus derivados como los biocombustibles 2G, especialmente en aquellos sectores donde la electrificación no es técnica o económicamente viable. Estos combustibles de nueva generación hechos de moléculas verdes ofrecen alta densidad energética y mayor capacidad de potencia, lo que los hace adecuados para aplicaciones de transporte pesado e industrias térmicas intensivas como la producción de minerales no metálicos (cemento, vidrio, cerámica) o productos químicos, entre otros.

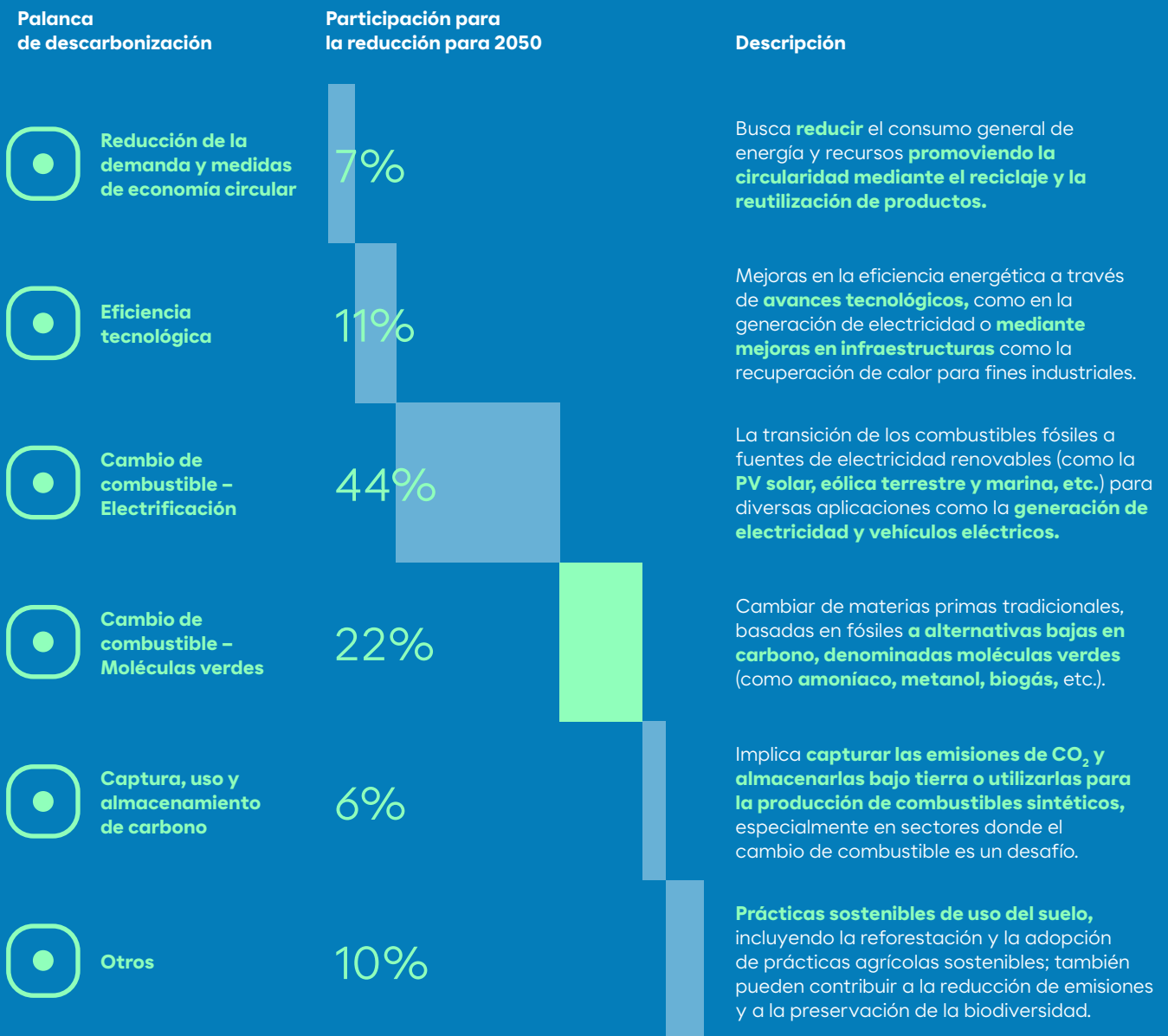
A pesar de las reducciones recientes, la Unión Europea aún necesita esforzarse para alcanzar su objetivo de reducción de emisiones del 55% en comparación con los niveles de 1990, necesario para cumplir con los objetivos establecidos para 2030. Para lograr estos ambiciosos objetivos, serán necesarias transformaciones significativas en todos los sectores mediante la activación de cinco palancas principales: (i) reducción de la demanda, (ii) mejoras en la eficiencia energética, (iii) cambio de combustibles y materias primas por alternativas bajas en carbono, (iv) captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS), y (v) otras medidas, como el uso sostenible de la tierra y prácticas agrícolas.

Si bien la electrificación es la principal vía de descarbonización, las moléculas verdes emergen como la segunda palanca más significativa y la principal alternativa para descarbonizar los sectores más difíciles de abatir, con el potencial de mitigar aproximadamente el 22%⁵ de las emisiones en Europa para 2050.

⁴ El hidrógeno verde puede generarse mediante electrólisis utilizando electricidad renovable como la solar fotovoltaica o la eólica, así como a través del biometano y el proceso de reformado con vapor de metano (SMR). Este informe se centrará específicamente en la vía del hidrógeno electrolítico.

⁵ Moeve analysis based on McKinsey “Net-Zero Europe”

Figura 3 Potencial de los mecanismos de reducción de emisiones y su participación para 2050



Fuentes: análisis Moeve basado en McKinsey.

En la Unión Europea, el sector marítimo, de aviación, transporte pesado por carretera e industrial ocupan una posición fundamental en el crecimiento económico, el comercio global y el intercambio internacional. No obstante, como se mencionó anteriormente, estas industrias también son grandes contribuyentes a las emisiones de la Unión Europea. En este contexto, están surgiendo soluciones innovadoras, impulsadas por iniciativas regulatorias como las políticas FuelEU Marítimo y ReFuelEU Aviación, entre otras. Esta estrategia integral abarca la adopción de biocombustibles, hidrógeno verde y combustibles sintéticos, todos destinados a remodelar las prácticas de transporte e industriales mientras se cumplen los estrictos objetivos de reducción de emisiones establecidos por las regulaciones de la Unión Europea.

Adopción progresiva de moléculas verdes

La adopción de moléculas verdes estará influenciada por factores como el tipo de molécula, el sector de uso final previsto, la disponibilidad de recursos, la financiación disponible, la acogida del mercado, el coste e intensidad de la descarbonización junto con la competencia de otras alternativas de descarbonización. Sin embargo, la Unión Europea está bien equipada para acelerar la adopción en toda la región.

Actualmente, los biocombustibles están más avanzados para impulsar la transición energética y se espera que mantengan ese papel en el corto y medio plazo. Muestra de ello es el proyecto de desarrollo de biocombustibles 2G de Moeve en Huelva, cuya entrada en operación se espera para principios de 2027. La planta tendrá una capacidad de producción de 500.000 toneladas flexibles de SAF y diésel renovable, creando el mayor complejo industrial de biocombustibles 2G del sur de Europa. Proyectos como este no solo consolidan el papel de los biocombustibles hoy, sino que facilitan la transición hacia otras alternativas renovables en el futuro.

A medida que avanza la tecnología y se consolida la infraestructura, se prevé que los combustibles sintéticos basados en hidrógeno, las materias primas sostenibles y el hidrógeno puro cobren mayor protagonismo en el medio y largo plazo. Estas alternativas renovables están destinadas a reemplazar hasta la mitad de la demanda de combustibles fósiles, constituyendo entre el 25% y 33% de la demanda energética de la Unión Europea.

Según informa Hydrogen Council, la mitad de la demanda global de hidrógeno para 2030 podría venir desde Europa, llegando a las 5 Mtpa gracias al impulso de exigencias normativas como la RED III⁶. En este contexto, las previsiones del "Clean Hydrogen Monitor 2025" Europa llegaría a cubrir 2,3 Mtpa de esta demanda para 2030 mediante la producción local de hidrógeno renovable, lo que supondría cubrir aproximadamente el 60% de su demanda regulatoria estimada. Si bien estas estimaciones se encuentran por debajo del objetivo establecido por REPowerEU de alcanzar una capacidad de producción interna de 10 Mtpa para 2030, reflejan un avance real y esencial en el desarrollo de la infraestructura necesaria para acelerar la producción de hidrógeno en los años posteriores.

Asimismo, en el contexto internacional, China lidera la implantación de electrolizadores para la generación de hidrógeno renovable, al contar con más de la mitad de la capacidad global comprometida⁷, con el objetivo de ganar independencia frente a los combustibles fósiles. Por su parte, Europa ocupa el segundo puesto en capacidad comprometida de hidrógeno renovable, con cerca del 20% del total global. Este impulso por parte de China destaca una realidad cada vez más clara; reforzar la seguridad energética y la competitividad industrial mediante la transición energética ya no es solo una opción, sino una prioridad estratégica para Europa. Cumplir y acelerar este avance será clave no solo para cubrir la demanda propia con producción local, sino para sentar las bases de un mercado que definirá la siguiente década.



Las moléculas verdes podrían reemplazar hasta el 50% de la demanda de combustibles fósiles, formando así aproximadamente un tercio del mix energético de la Unión Europea y marcando un paso crucial hacia la neutralidad climática.



⁶ "Global Hydrogen Compass 2025", McKinsey

⁷ Proyectos que o bien han tomado la decisión final de inversión, están en construcción o han empezado la operativa



Dentro de Europa, España es reconocida como líder en la cartera de proyectos de Power-to-Hydrogen (PtH) y cuenta con el objetivo de electrólisis más ambicioso de la Unión Europea para 2030. Según Hydrogen Europe, este liderazgo se atribuye a las condiciones favorables de España relacionadas con los recursos energéticos y las iniciativas gubernamentales ambiciosas⁸. En Iberia (España y Portugal), se prevé para 2030 una producción de 0,39 Mtpa de hidrógeno renovable, asociada a una capacidad de generación de 3 GW en España y 0,9 GW en Portugal. Aunque esta cifra se sitúa por debajo de los 12 GW inicialmente planteados en España, la visión de futuro se mantiene y continúa marcando la apuesta del país por esta tecnología. El despliegue gradual en la puesta en marcha de proyectos en sectores de nueva creación resulta habitual y se espera que se acelere a medida que se consolide el marco regulatorio, con la transposición de RED III o la adopción vinculante de la reducción de emisiones aprobada por la IMO en el ámbito del transporte marítimo. Además, el avance de los procedimientos de acceso y conexión, o la materialización de ayudas públicas que faciliten la toma de decisión final de inversión, fomentará la ejecución de un mayor número de proyectos. En este contexto España muestra una posición de liderazgo en Europa, por delante de otros mercados de referencia, como Alemania, donde se espera un despliegue de 2,2 GW⁹.

Este liderazgo de España se debe, en parte, al despliegue que ya ha comenzado a materializarse, con múltiples actores que han tomado la decisión final de inversión en sus proyectos de hidrógeno. Es el caso de Moeve, que ha aprobado la primera fase del Valle Andalúz del Hidrógeno Verde, Onuba, que con 300 MW es el mayor proyecto de hidrógeno verde de la UE dedicado al sector energético. Repsol, por su parte, recientemente ha instalado en Petronor su segundo electrolizador de 100 MW, destinado a reforzar la descarbonización industrial. También destacan iniciativas en su fase final de construcción, como la de BP e Iberdrola en Castellón, de 25 MW.

A nivel europeo, cabe destacar otros casos donde esta tendencia también se consolida, como el proyecto de Stegra en Suecia, siendo el proyecto con FID tomado más grande de Europa, y el cual en abril de 2026 ha finalizado la instalación de 740 MW de electrolizadores, destinados al proceso productivo de acero verde.

Al evaluar el desarrollo de proyectos de biocombustibles, muchos de ellos se centran en el desarrollo de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF). La Unión Europea anticipa aproximadamente 53 plantas de producción para finales de la década. Esto corresponde a alrededor del 43% de los proyectos globales en curso (~125) y una capacidad de 3,5 millones de toneladas, constituyendo aproximadamente el 15% de la capacidad total proyectada, que se espera sea de alrededor de 23 millones de toneladas¹⁰.



Las regulaciones de la UE que incentivan las moléculas verdes deberían centrarse en acciones con un alto potencial de reducción de emisiones, priorizando los combustibles basados en biomasa para la descarbonización inmediata, complementados por soluciones de hidrógeno a medio-largo plazo.

⁸ "Clean Hydrogen Monitor 2023", Hydrogen Europe

⁹ "Clean Hydrogen Monitor 2025", Hydrogen Europe

¹⁰ Análisis Moeve

Una jerarquía de adopción priorizada para las moléculas verdes debería centrarse en los casos de reducción más eficientes, considerando factores como la intensidad de la descarbonización, la eficiencia en la utilización de recursos y la viabilidad económica. La Unión Europea se beneficia de una infraestructura robusta y una amplia disponibilidad de recursos, lo que le da una ventaja competitiva en la transición hacia las moléculas verdes en comparación con otras regiones.

Se espera que los combustibles basados en biomasa impulsen los esfuerzos de descarbonización, mientras que las alternativas derivadas del hidrógeno ganarán protagonismo a medio y largo plazo a medida que mejore su competitividad. La adopción entre sectores dependerá de factores como los subsidios públicos, los costes de adaptación, la competitividad de los costes de los combustibles, la disponibilidad de recursos, la intensidad de la descarbonización y la adopción de regulaciones que establezcan objetivos claros de descarbonización. En última instancia, estos elementos darán forma a la transición hacia una economía más verde en la Unión Europea.

Figura 4 Jerarquía de soluciones de moléculas verdes.



Fuentes: análisis Moeve basado en Ramboll Group



Bajo diferentes escenarios basado en fuentes públicas, se prevé que los biocombustibles de segunda generación alcancen la paridad de costes con los combustibles fósiles en la década de 2030, y que los basados en hidrógeno lo hagan en la de 2040.

La competitividad de costes entre los combustibles fósiles convencionales y las moléculas verdes se espera que converja a medida que aumente el coste de las emisiones de CO₂, la producción de combustibles basados en biomasa e hidrógeno se vuelva más eficiente y los precios de la energía renovable disminuyan, lo que representa el 70-80% del precio del hidrógeno. Según diversos escenarios de precios, de la IEA (Agencia Internacional de Energía), el WEF (Foro Económico Mundial), el Centro Maersk McKinney Moller o IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), entre otros, los biocombustibles son la primera solución proyectada para lograr la paridad de costes con los combustibles convencionales, potencialmente para la década de 2030. En contraste, se anticipa que los combustibles basados en hidrógeno alcancen la paridad de costes durante la década de 2040.

Además de los esfuerzos para asegurar la competitividad de costes, se está obligando a los offtakers a explorar formas de descarbonizar sus procesos de producción y las emisiones de Alcance 3 mediante medidas regulatorias obligatorias y compromisos voluntarios de descarbonización. Entre los principales actores que destacan en este ámbito están los fabricantes de automóviles y las empresas de alimentos y bebidas, que están actuando de forma conjunta con diferentes industrias para descarbonizar sus productos y procesos.





Explorando el impacto del green premium

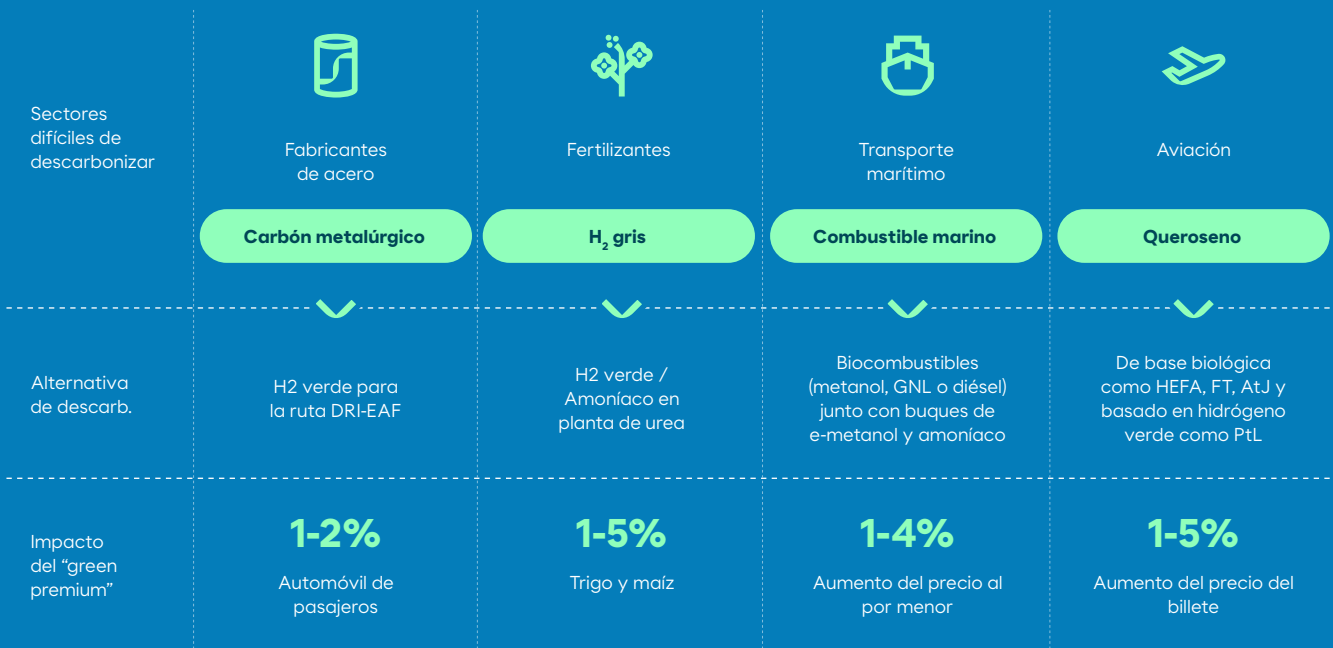
Al evaluar el impacto del “green premium” en diferentes productos a partir de 2030, se observa que esta prima tiende a disiparse a lo largo de toda la cadena de valor del producto¹¹. Por ejemplo, el impacto de utilizar acero verde, en vez del acero convencional, sobre el precio de un coche es de <2%. De manera similar, el aumento de precio asociado al uso de amoníaco verde para fertilizantes verdes podría resultar en un aumento entre el 1% y 5% en el coste de producción de trigo. Además, al considerar el coste adicional de utilizar embarcaciones que emplean combustibles verdes para el transporte de productos, se estima que el impacto sobre el precio de cada artículo varía entre un 1% y un 4%. Esto se debe a que el coste del envío representa solo una pequeña parte del precio final al consumidor. Adicionalmente, se espera que la adopción de SAF según los objetivos regulatorios resulte en un aumento limitado en los precios de los billetes de pasajeros, que varía de 1 a 40 euros dependiendo del tipo de vuelo.



El impacto del “green premium” disminuye a lo largo de la cadena de valor del producto, reduciendo su efecto en los precios para el usuario final a aumentos moderados del 1-5% a partir de la década de 2030.

¹¹ Análisis de precios basado en estimaciones y pronósticos de precios actuales. El impacto del “green premium” tendrá su mayor efecto en estos productos a corto plazo, a medida que los avances tecnológicos continúen reduciendo el coste de las moléculas verdes a medio y largo plazo, mientras que el coste del CO₂ incrementa el coste de los combustibles fósiles.

Figura 5 Evaluación del “green premium” en 2030 para los principales sectores difíciles de descarbonizar



Fuentes: análisis Moeve basado en Hydrogen Europe, IEA, Maersk Mc-Kinney Moller y WEF.

Asegurando la adopción de moléculas verdes

Europa está preparada para impulsar la descarbonización a nivel mundial y favorecer la adopción generalizada de moléculas verdes. La región cuenta con varias palancas que contribuyen a una transición verde, incluyendo la capacidad de producir combustibles basados en hidrógeno de manera competitiva en costes gracias a la abundante generación de electricidad renovable. Además, el apoyo de Europa para la reutilización de residuos para la creación de biocombustibles 2G, junto con sus prácticas de residuos de biomasa y silvicultura, proporcionan la materia prima necesaria. Europa también se beneficia de infraestructura de vanguardia, patrones de consumo diversos y una industria robusta, lo que la convierte en líder global en centros industriales, logísticos y de aviación.

Aunque estos esfuerzos son encomiables, vale la pena considerar las preocupaciones expresadas por instituciones y asociaciones europeas sobre una posible ‘crisis de suministro de materia prima’ basada en las tendencias actuales, como lo evidencia el fuerte aumento en las importaciones de aceite de cocina usado a la UE desde países no pertenecientes a la UE desde 2015. Esto destaca la importancia de diversificar, a través de la innovación, las materias primas utilizadas para

biocombustibles, reduciendo la dependencia de los aceites residuales importados y reforzando las cadenas de suministro internas en Europa. A pesar de esto, la promoción continua y el apoyo regulatorio para prácticas sostenibles en Europa siguen siendo firmes, motivados por la necesidad de la región de seguridad energética e independencia, así como por las limitaciones de la red eléctrica.

El papel de las moléculas verdes se vuelve clave para asegurar el suministro energético futuro y facilitar el desarrollo eficiente de infraestructura, particularmente en medio de preocupaciones sobre posibles cuellos de botella y saturación de la red. Una vez se haya desarrollado la infraestructura del hidrógeno verde, este podrá contribuir a gestionar la intermitencia de un sistema eléctrico basado en energías renovables. En los momentos de generación excedente, la electricidad renovable podrá transformarse en hidrógeno verde y, cuando exista un déficit, ese hidrógeno podrá convertirse nuevamente en electricidad. En este contexto, las moléculas verdes pueden ayudar a aliviar la congestión de la red, lo que refuerza la importancia de identificar la combinación de soluciones con mayor potencial.



Europa está a la vanguardia mundial en la adopción de moléculas verdes, lo que refuerza su seguridad energética y autonomía, al tiempo que facilita una transición resiliente y sostenible hacia una economía con bajas emisiones de carbono.

Una de estas soluciones es el hidrógeno, donde el sur de Europa, particularmente la Península Ibérica, surge como una región con un potencial significativo para lograr un Coste Nivelado de Hidrógeno (LCOH) altamente competitivo. Este potencial está impulsado por el Coste Nivelado de Electricidad (LCOE) competitivo derivado de abundantes recursos solares fotovoltaicos y eólicos en tierra. Según el análisis de Goldman Sachs titulado “Carbonomics: The Clean Hydrogen Revolution”, las proyecciones sugieren que para 2030, Iberia podría producir hidrógeno verde a aproximadamente la mitad del coste en comparación con Europa Central y los países nórdicos, convirtiéndose en un potencial proveedor a gran escala de moléculas verdes en la región. La sinergia entre los abundantes recursos eólicos del norte de Europa y la irradiación solar del sur crea condiciones óptimas para el desarrollo de parques eólicos eficientes e instalaciones solares. Estas fuentes renovables juegan un papel fundamental en asegurar el LCOE más bajo y facilitar el desarrollo y escalado de moléculas verdes basadas en hidrógeno en toda la región.



El sur de Europa, especialmente la Península Ibérica, tiene un potencial excepcional para producir hidrógeno verde a costes altamente competitivos, logrando precios casi la mitad de los de Europa Central y del Norte.





Según el informe “Clean Hydrogen Monitor 2025” de Hydrogen Europe¹², y alineado con estudios del Hydrogen Council y del European Hydrogen Backbone, los proyectos anunciados en la Unión Europea alcanzan una producción de hidrógeno de 12,7 Mtpa de hidrógeno verde para 2030, aunque, actualmente, solo el 5% de estos se encuentra en fase de desarrollo. El estudio identifica al sur de Europa, destacando regiones como Iberia, así como al norte de Europa, incluyendo los países nórdicos y el Reino Unido, como los principales futuros productores. Se anticipa que estas regiones contribuyan con más del 70% del suministro de hidrógeno para 2040, aprovechando sus abundantes recursos naturales.

Para mantener una ventaja competitiva en los combustibles sintéticos, el sur de Europa debe centrarse en aprovechar las ventajas de costes de las materias primas. Si bien los subsidios e incentivos pueden ofrecer apoyo, las regiones con acceso a hidrógeno de bajo coste y fuentes de CO₂ serán líderes en la producción de combustibles sintéticos, siendo el coste de la electricidad renovable el factor principal que influye en los costes de producción de hidrógeno verde. Prueba de ello es que los promotores en la subasta del Banco de Hidrógeno de Europa presentaron solicitudes de prima sorprendentemente bajas. La ayuda necesaria para cubrir la diferencia entre el coste de producción del hidrógeno y el precio que están dispuestos a pagar los offtakers se fijaba en un máximo de 4,5 €/kg, mientras todas las ofertas ganadoras se situaron entre 0,37 €/kg y 0,48 €/kg. Esto subraya la importancia de la electricidad renovable rentable para mantener la competitividad en el mercado de combustibles sintéticos.

Además, el compromiso de Europa con una economía circular y la reutilización de residuos es clave para asegurar un suministro sostenible de biomasa, crucial para el desarrollo de biocombustibles de segunda generación y la transición hacia una energía más limpia. Los diversos climas y ecosistemas del continente ofrecen una rica variedad de recursos de biomasa para bioenergía (para el desarrollo de biocombustibles 2G como SAF o biometano). A través de prácticas innovadoras como la reutilización y el reciclaje de residuos orgánicos de corrientes agrícolas, ganaderas o municipales junto con métodos de silvicultura sostenible, Europa aprovecha estos recursos para impulsar su agenda de energía renovable. Además, según varios estudios disponibles públicamente, como los realizados por Concawe y el Imperial College London¹³, junto con escenarios desarrollados por la Comisión Europea¹⁴, la disponibilidad de biocombustibles de segunda generación podría superar los 2.000 TWh (teravatios-hora) para 2050. Esta proyección implica un aumento diez veces mayor en la demanda de biocombustibles en comparación con los niveles actuales, según los últimos datos de Eurostat.

¹² “Clean Hydrogen Monitor 2025”, Hydrogen Europe

¹³ “Sustainable biomass availability in the EU, to 2050”, Concawe

¹⁴ “Development of outlook for the necessary means to build industrial capacity for drop-in advanced biofuels”, European Commission

Además, el patrón de consumo en toda Europa jugará un papel decisivo en la configuración de la adopción de moléculas verdes. Regiones como España, entre otras, con una elevada demanda en los sectores marítimo y de aviación, tienen el potencial de convertirse en hubs estratégicos para la producción y el suministro sostenible de SAF y moléculas verdes.

A pesar de estas perspectivas prometedoras, la adopción de moléculas verdes está acompañada de diversas barreras y desafíos. Factores críticos como las necesidades de inversión, la disponibilidad de recursos o la disposición a pagar por aumentos de costes relacionados con la descarbonización plantean obstáculos significativos para la integración de moléculas verdes en el panorama energético europeo. No obstante, se están desarrollando activamente una serie de medidas de apoyo y facilitadores para evitar que estos desafíos se conviertan en impedimentos, como objetivos regulatorios ambiciosos, I+D (investigación y desarrollo) tecnológica junto con subsidios e incentivos gubernamentales, entre otros. Además, las asociaciones de las principales partes interesadas contribuyen a un esfuerzo conjunto para superar obstáculos y promover la adopción generalizada de moléculas verdes.



Se están desarrollando medidas integrales, incluyendo objetivos regulatorios ambiciosos, I+D avanzada, subsidios gubernamentales e incentivos estratégicos, para superar las barreras a la adopción generalizada de moléculas verdes.

Figura 6 Desafíos clave y facilitadores para acelerar la adopción de moléculas verdes

Desafíos



Inversiones requeridas



Suministro seguro y sostenible



Desarrollo de infraestructura



Competitividad de costes y disposición del usuario a pagar

Facilitadores



Iniciativas regulatorias para promover moléculas verdes



Desarrollo tecnológico (I+D)



Subvenciones e incentivos gubernamentales



Alianzas entre los principales interesados

Fuentes: análisis Moeve.

Los desafíos asociados a la implementación de estas tecnologías subrayan la importancia de combinar inversiones estratégicas y esfuerzos de colaboración con marcos regulatorios que no solo estimulen la producción, sino que también impulsen la demanda. Junto con el apoyo regulatorio y los incentivos financieros, las alianzas entre actores clave, tanto públicos como privados, desempeñan un papel fundamental para ampliar la producción, alinearla con la demanda del mercado y mitigar los riesgos asumidos por los primeros inversores. En este contexto, la transición se acelerará mediante políticas europeas que acompañen de forma coordinada el desarrollo de la oferta, la creación de demanda y el despliegue de infraestructuras, garantizando un avance acompasado entre los distintos agentes del mercado.

La adopción de moléculas verdes en toda la Unión Europea está destinada a impulsar un crecimiento económico sustancial y la creación de empleo para 2040. Según proyecciones de Moeve y ManpowerGroup¹⁵, el desarrollo de moléculas verdes podría generar hasta 1,7 millones de nuevos empleos en la UE y Reino Unido, con un promedio de aproximadamente cien mil (100.000) empleos anuales. Entre los países europeos, España lidera en la creación de empleo dentro de la UE, con 181.000 para 2040, seguida de cerca por el Reino Unido y Alemania. Este crecimiento del empleo también generará beneficios económicos sustanciales, aumentando el PIB del área (Unión Europea y el Reino Unido) hasta 145 mil millones de euros para 2040, de los cuales 15.600 millones pertenecen al crecimiento en España.

Por otro lado, se necesitarían inversiones significativas dentro de la Unión Europea para alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono y la descarbonización de la economía. Como se destaca en los informes “New Energy

Outlook: Europe” de BloombergNEF¹⁶, en “Net-Zero Europe: Decarbonization pathways and socioeconomic implications” de McKinsey¹⁷ y en “Road to Net Zero” del Instituto Rosseau¹⁸, la transición de Europa a una economía de cero emisiones netas para 2050 requerirá más de 29 billones de euros¹⁹ en inversiones acumuladas, de los cuales aproximadamente el 20%, cerca de 5 billones de euros, serían una inversión incremental en comparación con un escenario sin acción climática, ya que los 23 billones de euros restantes provendrían de redirigir inversiones que tradicionalmente habrían financiado tecnologías fósiles. BloombergNEF también estima que las inversiones requeridas en el lado de la oferta de hidrógeno mostrarán una trayectoria ascendente constante a lo largo de los años, esperando alrededor de 300-400 mil millones de euros en el período 2022-2050.



Lograr una Europa de cero emisiones netas requerirá una inversión adicional de 5 billones de euros entre 2020 y 2050, una cifra considerablemente inferior a los costes económicos a largo plazo derivados de la inacción.

La necesidad de descarbonizar nuestra economía para frenar el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y limitar el calentamiento global es inaplazable. Ignorar este desafío conllevaría consecuencias graves e irreversibles para el planeta, como el aumento de las temperaturas, la subida del nivel del mar, el deshielo de los polos, olas de calor más frecuentes, inundaciones y otros fenómenos extremos.

Un estudio realizado por la Comisión Europea²⁰ revela las consecuencias económicas del cambio climático. Las temperaturas más altas provocan pérdidas adicionales de bienestar, afectan la producción económica e impactan el bienestar de los hogares. En un escenario de aumento de 3°C, la pérdida anual de bienestar en la Unión Europea podría alcanzar al menos 54 mil millones de euros. En cambio, limitar el calentamiento a 1,5°C reduciría la pérdida adicional de bienestar a 6 mil millones de euros anuales, lo que representa una reducción del 89%. Las implicaciones de no descarbonizar serían económicamente significativas, con pérdidas de bienestar mucho mayores en las regiones del sur en comparación con las del norte.

¹⁵ “Green Molecules: The Imminent Labor Market Revolution in Europe”, Moeve & ManpowerGroup Para evaluar el impacto, se han utilizado las proyecciones de hidrógeno verde del EHB. Estas proyecciones anticipan un rango de producción de aproximadamente 1.200-1.400 TWh de hidrógeno verde para 2040, cubriendo la Unión Europea y el Reino Unido.

¹⁶ “Energy sector investment requirements in Europe under BNEF Net Zero Scenario”, BloombergNEF

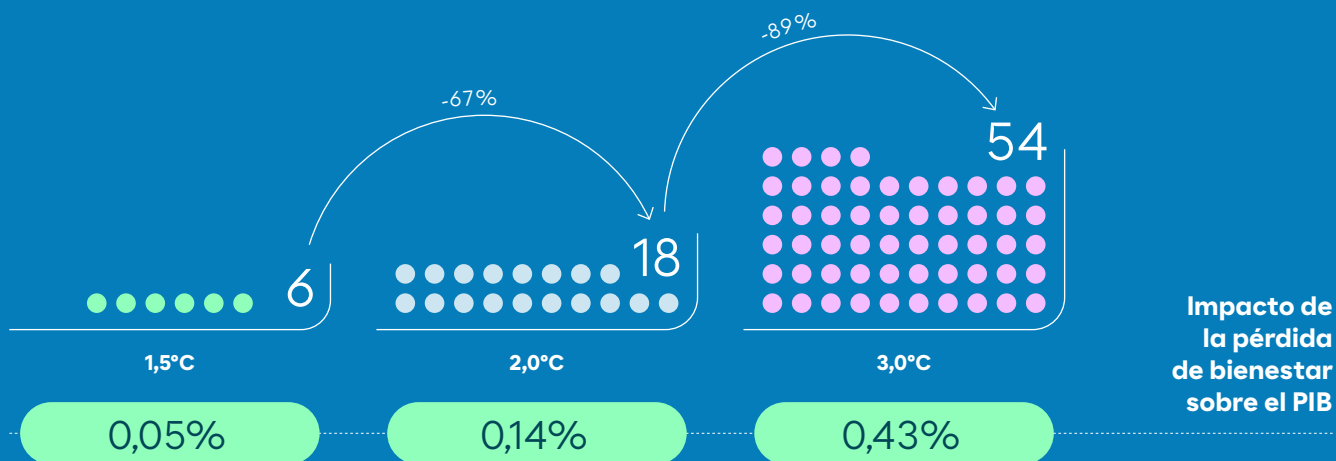
¹⁷ “Net-Zero Europe, Decarbonization pathways and socioeconomic implications”, McKinsey

¹⁸ “Road to Net-Zero, Bridging the Green Investment Gap”, Institut Rousseau

¹⁹ “De-risking the energy transition in Europe”, PwC

²⁰ “Welfare loss from climate change impacts”, European Commission

Figura 7 Pérdida anual de bienestar debido a los impactos del cambio climático (€bn)



Fuentes: Comisión Europea y PESETA IV.

Además, no actuar frente al cambio climático podría provocar una pérdida sustancial del PIB. Solo en Europa, se estima que el impacto económico acumulado en los próximos 50 años superará los 6 billones de euros. En contraste, alcanzar los objetivos climáticos globales podría generar beneficios económicos significativos, con un potencial estimado de hasta 730 mil millones de euros en Europa. Actuar ahora no solo es clave en términos de salud y ambientales, sino también para impulsar nuevas oportunidades de crecimiento económico.

Por lo tanto, la inacción climática tendría consecuencias negativas no solo en el medioambiente y la salud pública, sino también desde un punto de vista económico. En contraste con la inversión adicional estimada de 5 billones de euros²¹ necesaria para lograr la neutralidad climática para 2050²², el impacto económico de no descarbonizar superaría la inversión requerida en un 10-20%, con más de 6 billones de euros en los próximos 50 años.



Sin acción climática, la Unión Europea enfrenta pérdidas potenciales de 6 billones de euros, un coste que supera significativamente los 5 billones de euros necesarios para lograr una economía neutra en carbono para 2050.

²¹ La inversión adicional necesaria para lograr Net Zero se refiere a la inversión incremental requerida en comparación con un escenario en el que no se toma ninguna acción climática

²² "New Energy Outlook: Europe", BloombergNEF

Moléculas verdes para impulsar la estrategia europea

La adopción de moléculas verdes es clave para que Europa cumpla sus objetivos de transición energética, seguridad de suministro, soberanía energética, reindustrialización y competitividad de la industria. Sustituir hasta el 40% de la demanda de combustibles fósiles mediante la producción interna de moléculas verdes permitiría reducir la dependencia energética de la Unión Europea en un 50%, desde el 57% actual hasta el 28% para 2040, reforzando así la estabilidad energética del continente.

Para ello, Europa debe aprovechar su potencial y apostar por la innovación y la fabricación interna de tecnología necesaria para ser capaz de satisfacer sus necesidades energéticas de forma autónoma, competitiva y sostenible. En este contexto, el hidrógeno verde desempeñará un papel clave, ya que permitirá una mayor penetración de renovables en el sistema eléctrico, al tiempo que aporta demanda y flexibilidad al sistema. Convirtiéndose en una oportunidad clave para la reindustrialización, la competitividad y la creación de empleo.

Esta situación actuará como catalizador de una reindustrialización más competitiva en Europa, atrayendo industrias como la química y siderurgia, capaces de adoptar el hidrógeno y biocombustibles como fuentes de energía limpia. Así, la descarbonización debe convertirse en un motor de crecimiento para las industrias europeas y hacer que nuestro continente se posicione como líder en la economía verde del futuro.

El primer paso en ese camino es el desarrollo de la infraestructura necesaria, como el H2Med o los Valles del Hidrógeno, que permitan sentar las bases para el desarrollo de los primeros proyectos y que facilite el escalado posterior hasta el establecimiento de un mercado único e integrado a nivel europeo. La regulación es clave en este momento, debe ofrecer un marco claro y estable que facilite la inversión y garantice una transición justa y eficiente.



Es fundamental que esta década sienta las bases para construir una plataforma sólida que permita un despliegue acelerado del hidrógeno en la siguiente. Actuar ahora es clave para desarrollar la infraestructura necesaria para alcanzar la escala que se necesitará en el futuro.





moeve



01

Impulsando la descarbonización europea: el auge de las moléculas verdes



1.1.

La humanidad enfrenta la revolución energética del siglo en un entorno macroeconómico incierto

El mundo atraviesa una etapa clave en el panorama energético global, marcada por conflictos geopolíticos y disrupciones en las cadenas de suministro energético, que han evidenciado la vulnerabilidad de muchos países derivada de su dependencia exterior. En este contexto, la transición energética ya no responde únicamente a la necesidad de avanzar en la lucha contra el cambio climático, sino también a un imperativo estratégico: reforzar la seguridad de suministro, reducir la exposición a la volatilidad de precios de los combustibles fósiles y consolidar una industria propia, competitiva y resiliente.

Esta etapa es el resultado de múltiples acuerdos globales históricos, como el alcanzado en la COP28 en 2023, que algunos medios internacionales identificaron como el “principio del fin” de la era de los combustibles fósiles. En esta conferencia las naciones acordaron avanzar en la desaparición progresiva de los combustibles fósiles, que todavía representan aproximadamente el 80% de la demanda primaria global de energía.

A partir de esta decisión, los compromisos internacionales se han ido fortaleciendo, como en la COP30 donde se reforzó la imperativa de mantener el objetivo establecido en el Acuerdo de París, que busca limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C por encima de los niveles preindustriales para finales de siglo. Para lograr este objetivo se enfatizó la necesidad de cuadruplicar el uso de combustibles sostenibles para 2030. Además, la COP30 también subrayó la necesidad de triplicar la capacidad renovable global y duplicar la tasa anual de mejoras en eficiencia energética para 2030, junto con acelerar los esfuerzos para reducir el uso de carbón sin control, entre otros objetivos.

Durante esta conferencia, la Unión Europea, en colaboración con sus estados miembros, abogó por la necesidad de elevar las ambiciones climáticas y enfatizó la necesidad de establecer nuevos objetivos energéticos globales.



“La ventana de oportunidad para actuar y evitar impactos irreversibles sobre la humanidad y la naturaleza se está cerrando rápidamente. La amenaza existencial que plantea el cambio climático en particular impulsa el compromiso inquebrantable de la Unión Europea con el Acuerdo de París”.



Antonio Costa, presidente del Consejo Europeo, en la COP30, en noviembre de 2025²³

²³ “COP30 climate summit, Belém, Brazil, 6-7 November 2025”, European Council



La transformación energética se encuentra al frente de la agenda de la Unión Europea, convirtiéndose en una de las principales prioridades para todos los estados miembros. Los eventos geopolíticos, como el conflicto en Ucrania y más recientemente el conflicto en Irán, han llevado a la UE a acelerar la reforma de su sistema energético. En este entorno, un equilibrio correcto entre la asequibilidad de la energía, la seguridad de suministro y la sostenibilidad ambiental es crucial para las instituciones europeas y los responsables políticos. Este viaje transformador depende de la creciente contribución de las moléculas verdes, particularmente en sectores donde la electrificación puede no ser una opción viable, emergiendo como una fuerza clave para lograr la descarbonización y los objetivos de cero emisiones netas. Alcanzar este equilibrio es esencial para asegurar el avance económico mientras se progresa en las políticas energéticas:

- **Seguridad de suministro:** al promover tecnologías, combustibles y procesos que utilizan energía renovable de origen local, las moléculas verdes mejoran significativamente la independencia energética europea. Esto ayuda a estabilizar el suministro en medio de la volatilidad del comercio internacional de energía, especialmente en momentos en que los factores geopolíticos destacan la necesidad de un suministro confiable y de origen nacional. Aunque el desarrollo puede llevar tiempo, el potencial de los residuos agrícolas, forestales, municipales y otros en la UE es vasto, ofreciendo una mejora sustancial en la seguridad de suministro en comparación con la dependencia actual del petróleo y el gas.
- **Asequibilidad de la energía:** la diversificación proporcionada por las moléculas verdes en términos de suministro de energía y producción de combustibles ofrece una reducción de costes en el medio y largo plazo, con un aumento en la estabilidad y previsibilidad de los precios en comparación con los recursos sujetos a la volatilidad del mercado global. Esto beneficia a las industrias, los consumidores y la economía en general al proporcionar un marco de precios más previsible.
- **Sostenibilidad ambiental:** la descarbonización de la economía se presenta como uno de los desafíos más significativos de la humanidad hoy en día, como enfatizan fuentes reputadas como Forbes en "Time to Tackle Humanity's Greatest Challenge: Climate Change". Según lo demostrado en el informe, se espera que las moléculas verdes desempeñen un papel fundamental en la transición hacia una economía de cero emisiones netas y en los objetivos de descarbonización.



Las moléculas verdes son esenciales para lograr los objetivos de descarbonización europeos y cumplir con el Acuerdo de París, especialmente en sectores donde la electrificación no es una opción viable.





Existe una idea cada vez más consolidada: la competitividad de Europa no podrá despegar mientras mantenga dependencias externas que terceros puedan utilizar como instrumento de presión política o estratégica, tal y como se ha puesto de manifiesto en los conflictos más recientes. Como señaló Enrico Letta en el 34º Congreso de Faconauto, “no existe Europa sin industria, no existe seguridad sin resiliencia financiera y no existe seguridad sin independencia energética”.

En busca de asegurar una transición energética justa y competitiva, la Unión Europea ha desarrollado varias políticas y paquetes legislativos en los últimos años, especialmente durante los últimos siete años con el “Green Deal”, el Paquete Fit for 55, el REPowerEU, la Directiva de Energía Renovable (RED III), el EU Competitiveness Compass y el Affordable Energy Action Plan, entre otros. Estas iniciativas establecen consistentemente objetivos de descarbonización más ambiciosos. Por lo tanto, las moléculas verdes jugarán un papel cada vez más importante en este panorama en evolución.

El lanzamiento del “Green Deal” en 2019 se presenta como uno de los hitos más significativos de la Unión Europea contra el cambio climático, estableciendo la ambición de alcanzar una reducción del 55% en las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 en comparación con los niveles de 1990. El “Green Deal” comprende un conjunto de iniciativas políticas diseñadas para establecer la estrategia de descarbonización europea para lograr la neutralidad climática para 2050. Este paquete de políticas abarca iniciativas específicas de sectores dentro de la economía europea, así como iniciativas más holísticas que en conjunto definen el camino para la transición verde de Europa.

Dentro del “Green Deal”, una de sus iniciativas destacadas es el **Paquete Fit for 55**, introducido en 2021. Este paquete integral abarca varias iniciativas diseñadas para cumplir con los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero y los objetivos climáticos establecidos por la Unión Europea.

El **paquete Fit for 55** incorpora algunas de las iniciativas más significativas de la Unión Europea en relación con la descarbonización y la transición a moléculas verdes. Estas incluyen el Sistema de Comercio de Emisiones de la UE (ETS), el Mecanismo de Ajuste en Frontera de Carbono (CBAM), las iniciativas FuelEU Marítimo, ReFuelEU Aviación, y la RED III, entre otras.

Introducido a principios de 2022 como respuesta al conflicto en Ucrania, el plan **REPowerEU** tiene como objetivo acelerar la descarbonización europea y la transición verde junto con la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles rusos. El plan se centra en generar energía limpia y diversificar el suministro energético, enfatizando el uso creciente de moléculas verdes como el hidrógeno y sus derivados, junto con el biometano. Los objetivos ambiciosos de este plan incluyen tener 20 millones de toneladas de hidrógeno verde disponibles para 2030 (de las cuales 10 millones se fabricarían en la Unión Europea y 10 millones restantes se importarían), y generar 35 mil millones de metros cúbicos de biometano, entre otras iniciativas.

Otra de las iniciativas políticas recientes de la Unión Europea es la actualización de la **RED**, que eleva el objetivo de consumo de energía renovable para 2030 del 32,0% al 42,5% (con un 2,5% complementario), con el objetivo de reducir la dependencia energética y las importaciones de combustibles fósiles. También establece objetivos específicos más ambiciosos para el sector del transporte, la industria, así como los sectores de calefacción y refrigeración de edificios en un esfuerzo coordinado para avanzar en la integración de energía renovable en diversos ámbitos.

Además, la reciente revisión de la Ley Europea del Clima refuerza aún más esta trayectoria al establecer un nuevo objetivo intermedio, como paso clave hacia la neutralidad climática en 2050. Este objetivo consiste en la reducción del 90% de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2040, respecto a los niveles de 1990. Asimismo, se evaluarán de forma periódica los avances hacia este nuevo objetivo, en base a la evolución tecnológica, la competitividad industrial y las tendencias de los precios de la energía, con el fin de garantizar una transición eficaz, competitiva y que proteja la prosperidad y la cohesión social de la Unión Europea.



1.2.

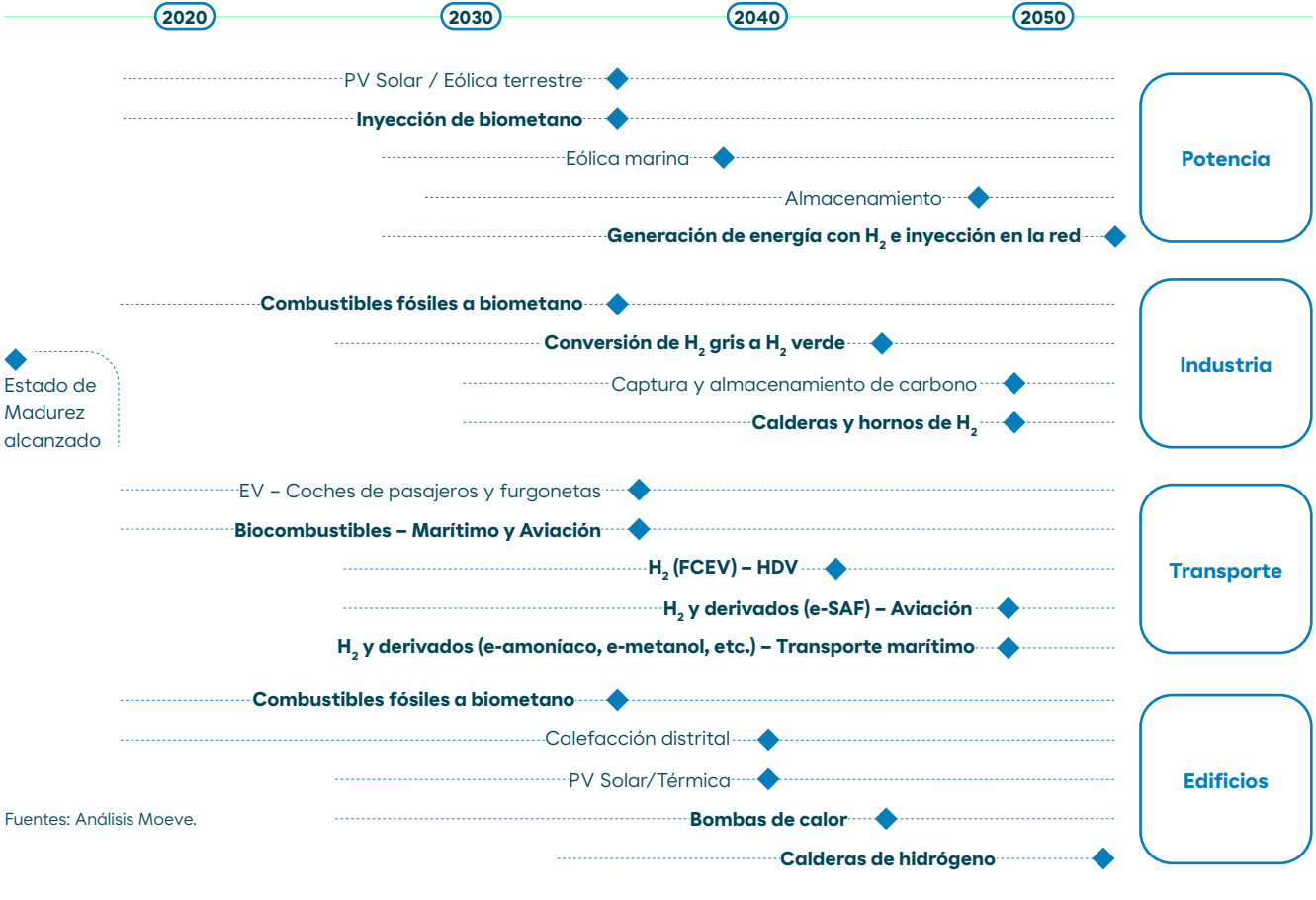
Un problema de esta magnitud requiere una combinación de soluciones tecnológicas adaptadas a cada uso final

El uso de energía en los diferentes sectores económicos implica soluciones tecnológicas muy diversas. Estas van desde aviones comerciales, hasta hornos y calderas industriales, así como camiones y buques de carga. Como resultado, las alternativas tecnológicas disponibles para descarbonizar estos sectores varían según su uso final, la potencia requerida, las necesidades de densidad energética y otros factores.

Dentro de las alternativas tecnológicas necesarias para la descarbonización, se pueden identificar dos grupos principales según el tipo de tecnología. Por un lado, están aquellas que dependen de la electrificación (como la energía solar fotovoltaica, los vehículos eléctricos de batería, las bombas de calor, etc.), y por otro lado, las basadas en moléculas verdes, incluyendo los combustibles de aviación sostenibles (SAF), el amoníaco o el metanol para el transporte marítimo, etc.

Para ejecutar la transición energética y cumplir con los objetivos de descarbonización, será necesario un mix de tecnologías, con el objetivo de identificar la combinación más efectiva para cumplir los requisitos específicos de cada uso final. Por lo tanto, las políticas energéticas de la UE abogan por la electrificación de la economía y un papel creciente para las moléculas verdes, ya que permiten aprovechar parte de la infraestructura energética existente y, con ello, reducir una parte significativa de las inversiones que serían necesarias en un escenario basado exclusivamente en la electrificación²⁴. Esto no solo facilita una transición más rápida y eficiente, sino que también contribuye a mitigar el impacto económico sobre los consumidores. Todas las tecnologías necesarias para la descarbonización están sobre la mesa, sin embargo, su adopción dependerá tanto del coste de la tecnología como de su madurez tecnológica, factores que influirán en la producción industrial y la escalabilidad.

Figura 8 Visión general del desarrollo de tecnologías de descarbonización



Fuentes: Análisis Moeve.

²⁴ "Market Activation Strategy", (2025), Global Hydrogen Mobility Alliance

Los sectores difíciles de descarbonizar, abarcan industrias o segmentos de la economía que enfrentan desafíos sustanciales para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Estos sectores generalmente involucran procesos muy dependientes de combustibles fósiles, lo que dificulta su reducción de emisiones. Industrias pesadas como el hierro y el acero, productos químicos, refinerías o minerales no metálicos como el cemento, junto con sectores de transporte específicos como la aviación, el sector marítimo de larga distancia y el transporte por carretera de carga pesada, se encuentran dentro de la categoría de sectores difíciles de descarbonizar. Las moléculas verdes permiten descarbonizar estos sectores, y dependiendo de su uso final, las moléculas verdes se pueden clasificar en dos grupos principales:

- **Moléculas verdes como materia prima:** el hidrógeno verde proporciona las propiedades químicas necesarias que la electrificación no puede ofrecer para descarbonizar sectores específicos. Estos usos incluyen el uso de hidrógeno como materia prima para producir varios productos químicos como amoníaco, fertilizantes o metanol, entre otros. También es esencial en procesos de refinación, como la hidrogenación y el hidrocrqueo para la producción de combustibles. Además, el hidrógeno sirve como un agente reductor adecuado en los procesos de fabricación de acero, donde la electrificación no es una solución viable.
- **Moléculas verdes como combustible:** tanto el hidrógeno y sus derivados, como los biocombustibles, ofrecen alta densidad energética, mayor capacidad de potencia y la capacidad de soportar picos de temperatura más altos, lo que los hace adecuados para sectores donde la electrificación puede no ser técnicamente viable. Estas aplicaciones están ganando relevancia en sectores de transporte de carga pesada como el marítimo, la aviación o los camiones de larga distancia, así como en industrias específicas con procesos térmicos intensivos, como la producción de minerales no metálicos.



Los sectores difíciles de descarbonizar incluyen industrias pesadas—hierro, acero, productos químicos, refinerías y cemento—así como áreas clave de transporte como la aviación, el transporte marítimo de larga distancia y el transporte por carretera de carga pesada.

Por el contrario, la electrificación resulta ser una solución altamente competitiva en sectores caracterizados por un nivel pronunciado de eficiencia energética, acompañado de una notable madurez tecnológica en la mayoría de sus soluciones.





1.3.

Explorando la naturaleza de las moléculas verdes: Una inmersión completa

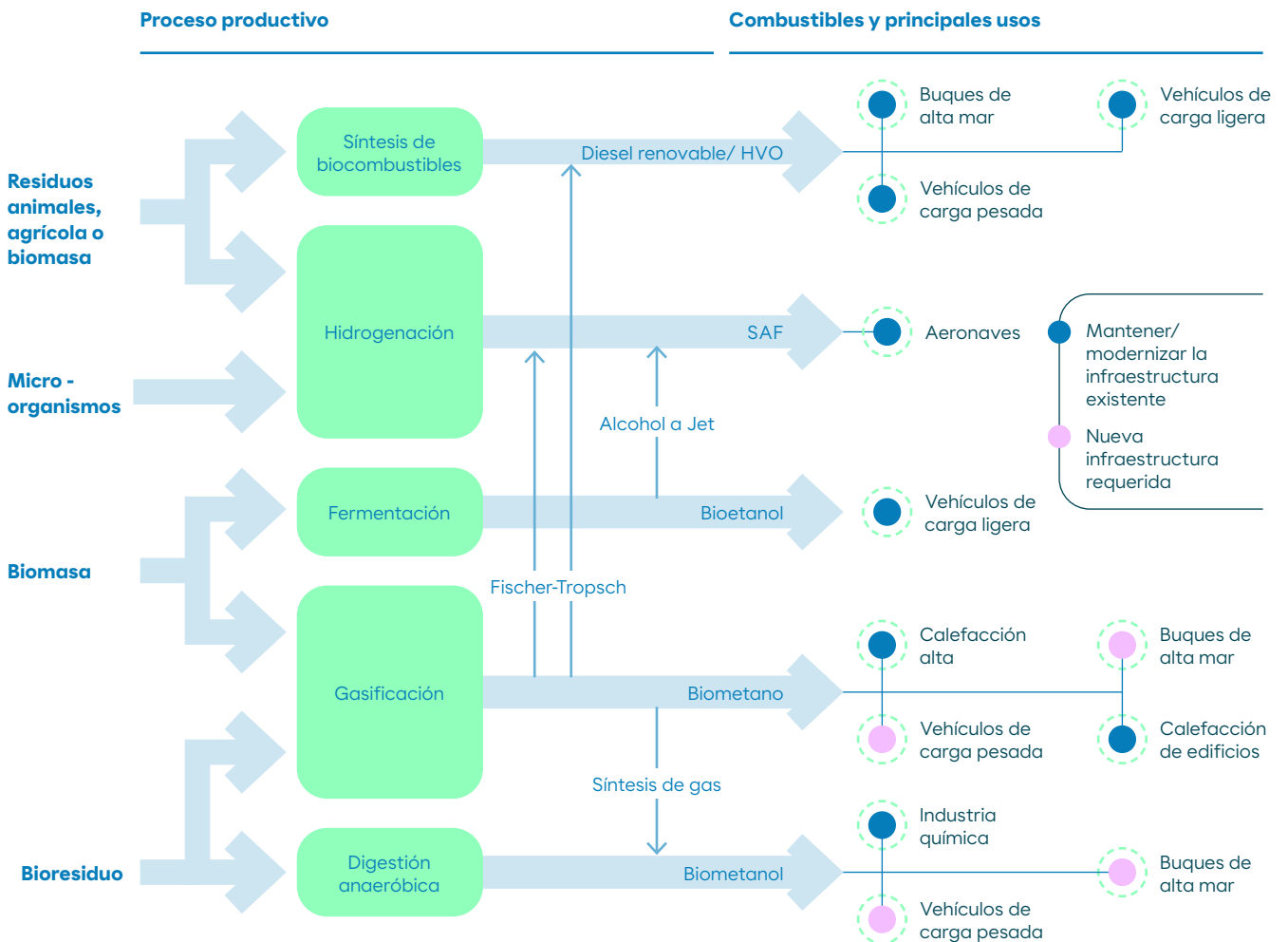
Las moléculas verdes se refieren a compuestos químicos, tanto líquidos como gaseosos, clave para lograr los objetivos de descarbonización, que contribuyen a una transición verde a través de soluciones bajas en carbono. Las moléculas verdes se pueden categorizar ampliamente en dos grupos principales: **basadas en biomasa** y **basadas en hidrógeno**, dependiendo de la naturaleza de su proceso de producción.

Las moléculas verdes basadas en biomasa, como el biometano, el biometanol, el diésel renovable o los SAF, son combustibles verdes derivados de residuos orgánicos, biomasa, residuos agrícolas y ganaderos. Estos compuestos orgánicos se tratan a través de procesos avanzados (digestión anaeróbica, hidrogenación, etc.) para producir combustibles sostenibles y ofrecer alternativas limpias para calefacción, transporte y aplicaciones industriales.

Además, los combustibles basados en biomasa se pueden categorizar en dos grupos principales. En primer lugar, están los biocombustibles de primera generación, derivados de cultivos agrícolas como el maíz, la caña de azúcar o los aceites vegetales. Estos tipos de biocombustibles son los más utilizados actualmente en todo el mundo. Sin embargo, la UE está estableciendo limitaciones en su uso debido a preocupaciones sobre sus posibles impactos negativos en la competitividad del sector alimentario y la biodiversidad debido a prácticas no controladas.

Por otro lado, están los biocombustibles de segunda generación, que se derivan ya sea de residuos orgánicos no asociados con la industria alimentaria o de microorganismos. Estos biocombustibles se obtienen de varios compuestos orgánicos como residuos sólidos urbanos, estiércol, biomasa o aceites usados de cocina, entre otros. El uso de residuos en la producción de estos combustibles de segunda generación promueve una economía circular y reduce el volumen de residuos enviados a los vertederos.

Figura 9 Visión general de las diferentes tecnologías de producción de H₂ verde y sus derivados

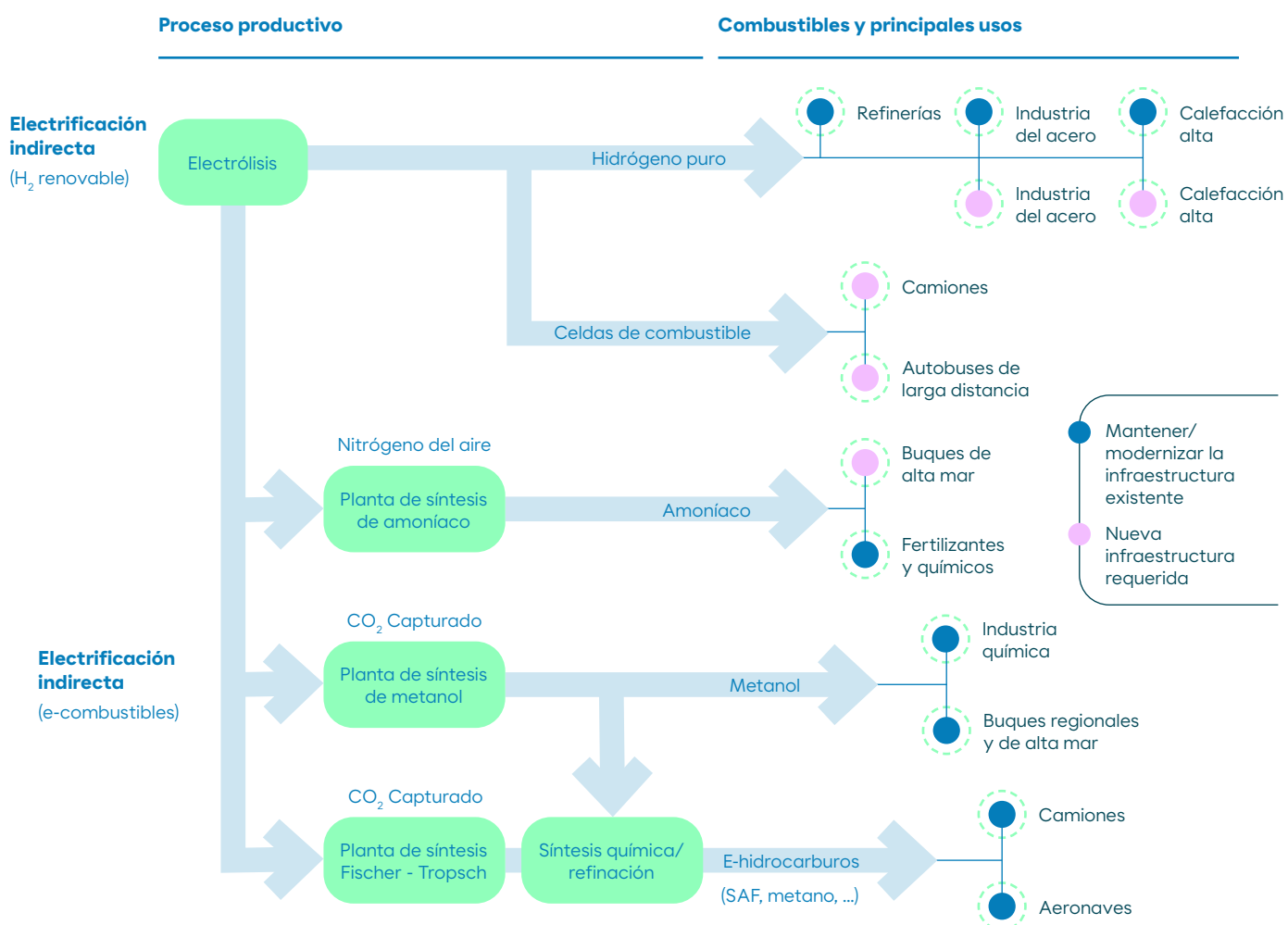


Fuentes: Moeve analysis

Las moléculas verdes basadas en hidrógeno (también llamadas combustibles sintéticos, derivados del hidrógeno o e-combustibles), que incluyen hidrógeno verde puro²⁵, metanol verde, amoníaco verde o combustibles Power-to-Liquid (PtL) como el e-queroseno, son compuestos sintéticos hechos a partir de hidrógeno verde junto con CO₂ o N₂. Estos compuestos pasan por procesos avanzados como FT (Fischer-Tropsch), síntesis de metanol, síntesis de amoníaco, etc., para producir combustibles verdes sintéticos. Al utilizar fuentes de energía renovable y tecnologías de captura de carbono, estas moléculas ofrecen soluciones eficientes para lograr la descarbonización mediante el uso de recursos naturales.

Al evaluar ambas categorías, las moléculas verdes basadas en biomasa muestran una mayor madurez en comparación con las basadas en hidrógeno. Sin embargo, para liberar todo el potencial de la descarbonización a través de moléculas verdes, los derivados del hidrógeno muestran un potencial de desarrollo y crecimiento sustancial a futuro. El avance en la producción de hidrógeno verde y los esfuerzos de reducción de costes serán clave para establecer estas tecnologías como alternativas competitivas a los combustibles fósiles.

Figura 10 Visión general de las diferentes tecnologías de producción de H₂ verde y sus derivados



Fuentes: Orsted; IRENA; Moeve analysis.

²⁵ El hidrógeno verde puede generarse mediante electrólisis utilizando electricidad renovable, como la energía solar fotovoltaica o eólica, así como a través del biometano y el proceso de Reformado de Metano con Vapor (SMR, por sus siglas en inglés). Este informe se centrará específicamente en la vía del hidrógeno electrolítico

02

Desbloqueando el poder de las moléculas verdes



2.1.

Un camino para reemplazar el 30-50% de la demanda de combustibles fósiles y descarbonizar el 20-25% de las emisiones de la Unión Europea para 2050

La transición hacia las moléculas verdes en el esfuerzo de descarbonización implica reemplazar los combustibles fósiles actualmente dominantes, que constituyen aproximadamente el 68%²⁶ del mix energético existente. A corto plazo, se anticipa que los biocombustibles lideren esta transición, acelerando la transición verde hacia objetivos intermedios de descarbonización. Un ejemplo es el proyecto de Moeve en Huelva, cuya entrada en operación se espera para principios de 2027. La planta tendrá una capacidad de producción de 500.000 toneladas flexibles de SAF y diésel renovable, creando el mayor complejo industrial de biocombustibles 2G del sur de Europa. Proyectos como este no solo consolidan el papel de los biocombustibles hoy, sino que facilitan la transición hacia otras alternativas renovables en el futuro.

A medio y largo plazo, se espera que los e-combustibles contribuyan junto con los biocombustibles 2G, ayudando a aumentar la demanda de moléculas verdes y logrando los objetivos de transición energética a largo plazo. Se proyecta que estas alternativas contribuyan a desplazar alrededor del 30-50% de la demanda de combustibles fósiles, para 2050, representando aproximadamente el 20-35%²⁷ del mix energético final de la Unión Europea. Un informe de Engie titulado “Achieving Europe’s Energy Transition” indica que el potencial a 2050 podría ser el 32%²⁸.



Los biocombustibles sirven como una solución inmediata de descarbonización para la Unión Europea, mientras que los e-combustibles abordarán la descarbonización a largo plazo.

Al evaluar las emisiones de GHG de la Unión Europea, la región emerge como gran contribuyente a las cifras globales, representando aproximadamente el 5% del total mundial. En 2024, las emisiones totales de la Unión Europea eran de alrededor de 3.040 millones de toneladas de CO₂²⁹. Si bien esto representa una disminución significativa con respecto a años anteriores—una caída del 26% en comparación con 2010 y del 30% y 38% en comparación con los años 2000 y 1990, respectivamente—todavía está por debajo del objetivo de reducción del 55% necesario para cumplir con los objetivos establecidos para 2030 y las metas de reducción del 90% para 2040 y de cero emisiones netas para 2050.

²⁶ “Energy Balance”, (2024), Eurostat

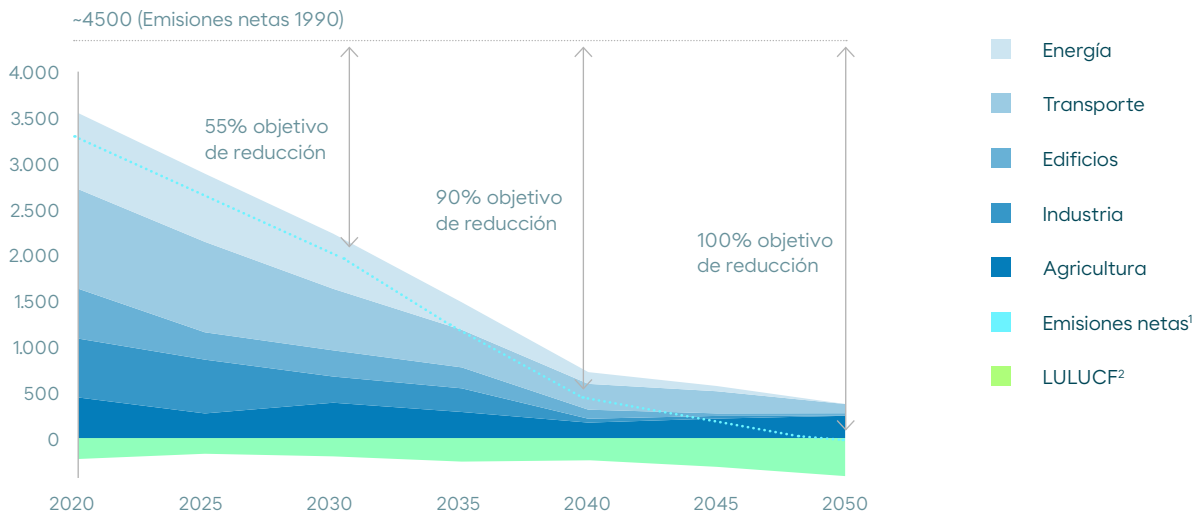
²⁷ “The role of hydrogen in energy decarbonization scenarios”, (2022), European Commission JRC

²⁸ “Achieving Europe’s Energy Transition”, Engie

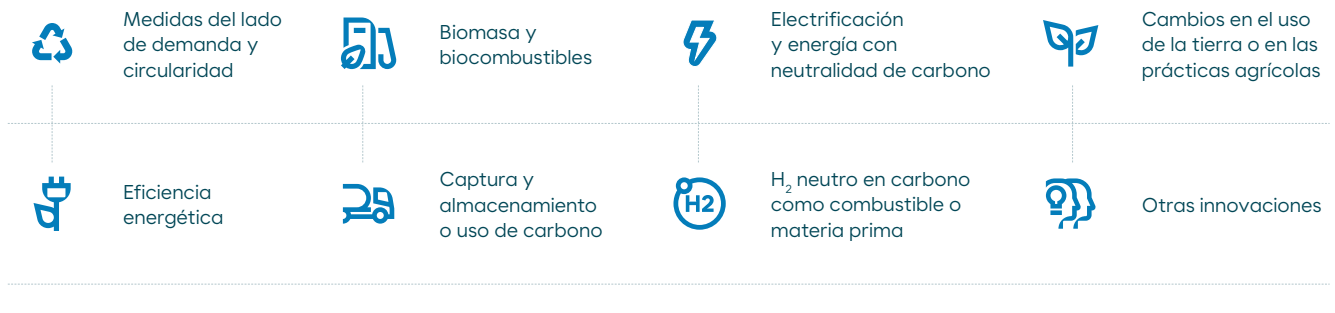
²⁹ “Greenhouse gas emissions”, Our World in Data



Figura 11 Proyección de emisiones de CO2 en la Unión Europea por sector (Mt)



Principales impulsores de la descarbonización



Notas: 1) Incluye tecnologías de absorción; 2) Se refiere al uso de la tierra, cambio en el uso de la tierra y silvicultura, que abarca todas las formas en las que el CO₂ atmosférico puede ser capturado o liberado como carbono en la vegetación y los suelos de los ecosistemas terrestres.

Fuente: análisis de Moeve basado en McKinsey

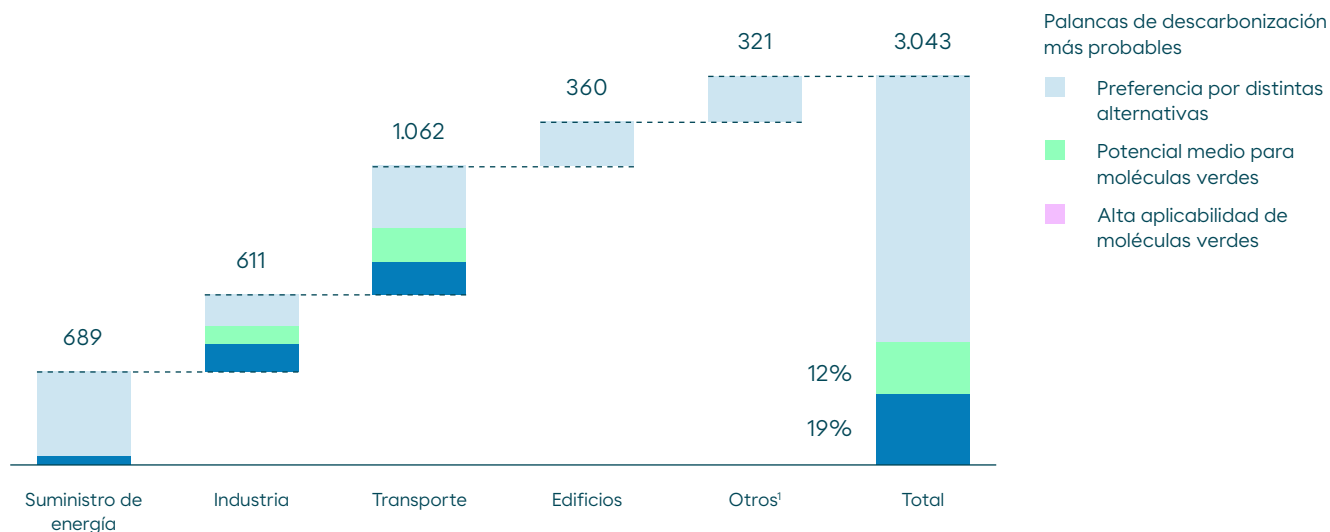
Se anticipa que las moléculas verdes desempeñen un papel fundamental en sectores difíciles de descarbonizar donde la electrificación puede no ser una solución viable. Estos sectores representan aproximadamente el 31%³⁰ de las emisiones actuales de GHG en Europa y el 20-25%³¹ de la demanda primaria de energía europea, y son dominios clave donde la presencia y adopción de moléculas verdes serán particularmente pronunciadas.

De manera similar, las moléculas verdes como el amoníaco también podrían desempeñar un papel significativo en el almacenamiento y la generación de energía, ayudando a equilibrar el sistema eléctrico y sirviendo como un portador que facilite el comercio internacional de energía renovable.

³⁰ European Environment Agency, (2024)

³¹ "Energy Balance", (2024), Eurostat

Figura 12 Emisiones de la Unión Europea por sector (MtCO₂e, 2024).



Sectores con alta-media aplicabilidad de moléculas verdes para su descarbonización

- > Refino de petróleo
- > Químicos
- > Marítimo
- > Hierro y acero
- > Aviación
- > Minerales no metálicos
- > Camiones pesados

Notas: 1) Agricultura y otros sectores minoritarios

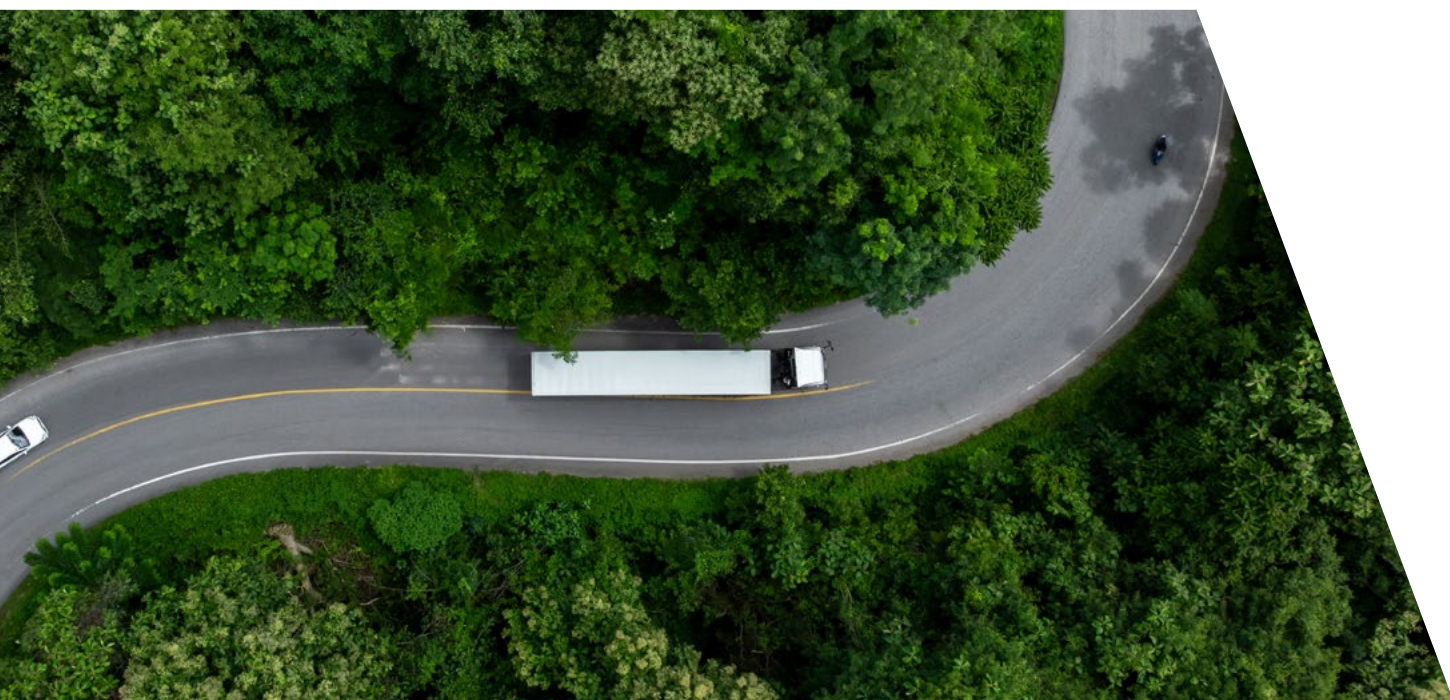
Fuentes: Agencia Europea de Medio Ambiente

Las emisiones de los sectores difíciles de descarbonizar ejercen una influencia más pronunciada dentro de la Unión Europea en comparación con el total global. Esto se debe principalmente a los esfuerzos acelerados de descarbonización de la Unión Europea, especialmente en el sector de suministro de energía, donde se han logrado avances significativos en el desarrollo de energía solar y eólica en las últimas décadas, reduciendo un 48% las emisiones de GHG de la Unión Europea en la generación de electricidad y calor en 2023 en comparación con 1990, según Our World in Data³². Esto contrasta con una mayor dependencia global de los combustibles fósiles, incluidos el carbón, el petróleo y el gas natural, con un aumento en las emisiones de GHG en la generación de electricidad y calor del 97% en el mismo período. En consecuencia, es imperativo que la Unión Europea acelere el desarrollo de moléculas verdes para lograr los objetivos de descarbonización establecidos y facilitar la transición hacia una economía neutra en carbono.

³² "Breakdown of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide emissions by sector", Our World in Data

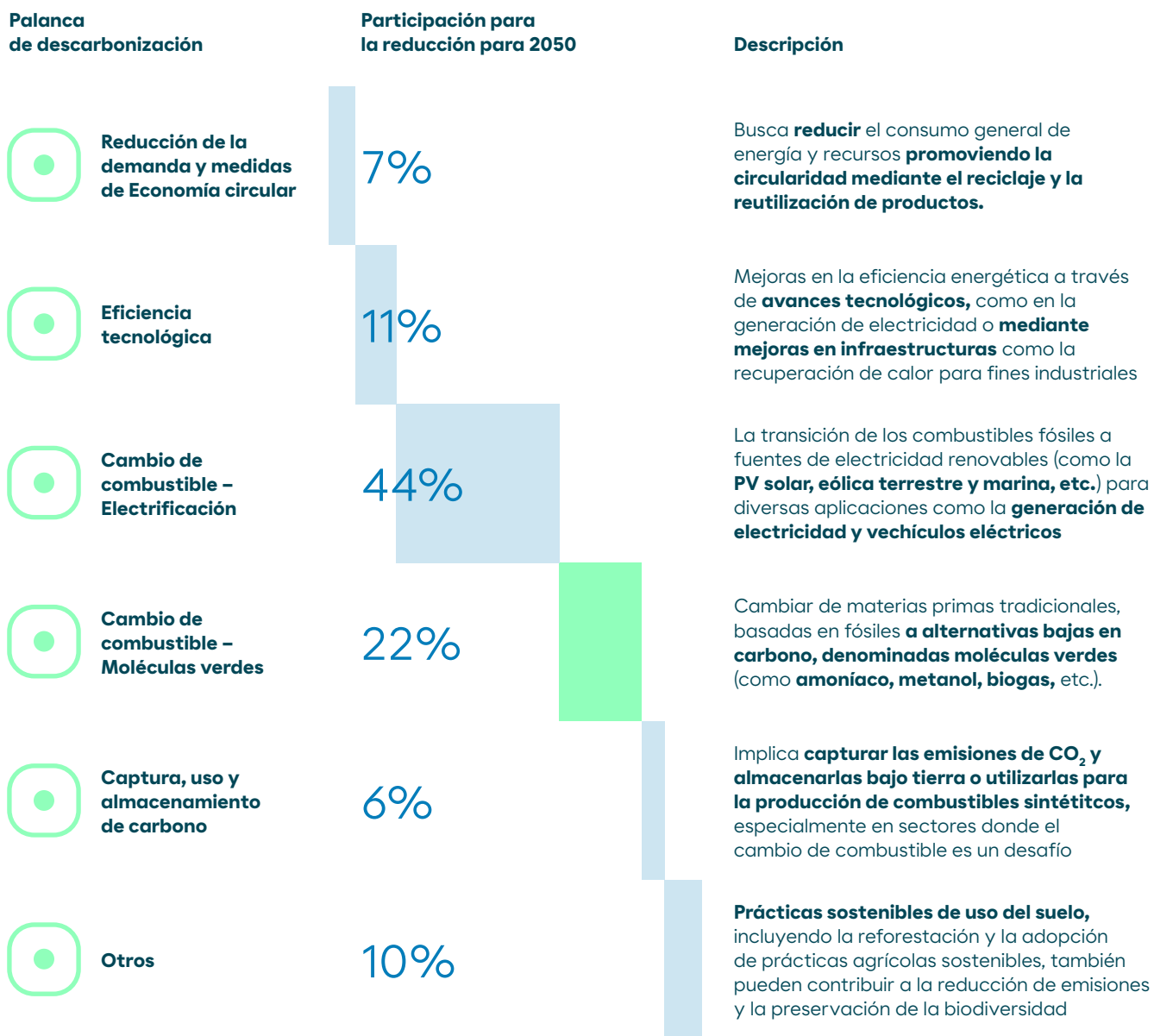
No obstante, las moléculas verdes por sí solas no serán suficientes para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones. Serán necesarias transformaciones sustanciales adicionales en todos los sectores económicos mediante la activación de cinco palancas principales:

- **Reducción de la demanda:** Medidas destinadas a reducir el consumo general de energía y recursos junto con medidas de circularidad que aumenten la reducción de residuos mediante el reciclaje y la reutilización de productos.
- **Eficiencia energética:** Las mejoras en esta palanca se lograrán a través de dos vías principales: primero, las tecnologías empleadas, como la generación de electricidad, las bombas de calor o los vehículos eléctricos y de celda de combustible; y segundo, mediante mejoras en la infraestructura, incluyendo la recuperación de calor en aplicaciones industriales y el aislamiento en edificios residenciales.
- **Cambio de combustible y materia prima hacia alternativas bajas en carbono:** La transición de combustibles fósiles a alternativas bajas en carbono es la palanca clave para activar y lograr una reducción significativa de emisiones, como se establece en la COP30. Este cambio de combustible será liderado por fuentes de electricidad renovable (solar fotovoltaica, eólica terrestre y marina, etc.) y moléculas verdes (amoníaco, metanol, biogás, etc.).
- **Captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS):** La tecnología CCUS implica capturar emisiones de CO₂ de instalaciones industriales intensivas o directamente del aire para almacenarlas bajo tierra en formaciones geológicas o utilizarlas para la producción de combustibles sintéticos. Esta palanca es clave para reducir las emisiones de GHG de sectores donde el cambio de combustible a alternativas bajas en carbono es más desafiante, como la producción de cemento.
- **Otras medidas:** Las prácticas de uso sostenible de la tierra, como la reforestación, pueden desempeñar un papel clave en la captura de CO₂ mientras se preserva la biodiversidad. Además, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles puede contribuir a reducir las emisiones en uno de los sectores más desafiantes para abordarlas.



Las moléculas verdes emergen como la segunda palanca más significativa en la descarbonización, después de la electrificación, con el potencial de mitigar aproximadamente el 22% de las emisiones en Europa para 2050³³.

Figura 13 Potencial de los mecanismos de reducción de emisiones y su participación para 2050.



Fuentes: análisis Moeve basado en McKinsey.

³³ Moeve analysis based on McKinsey "Net-Zero Europe"



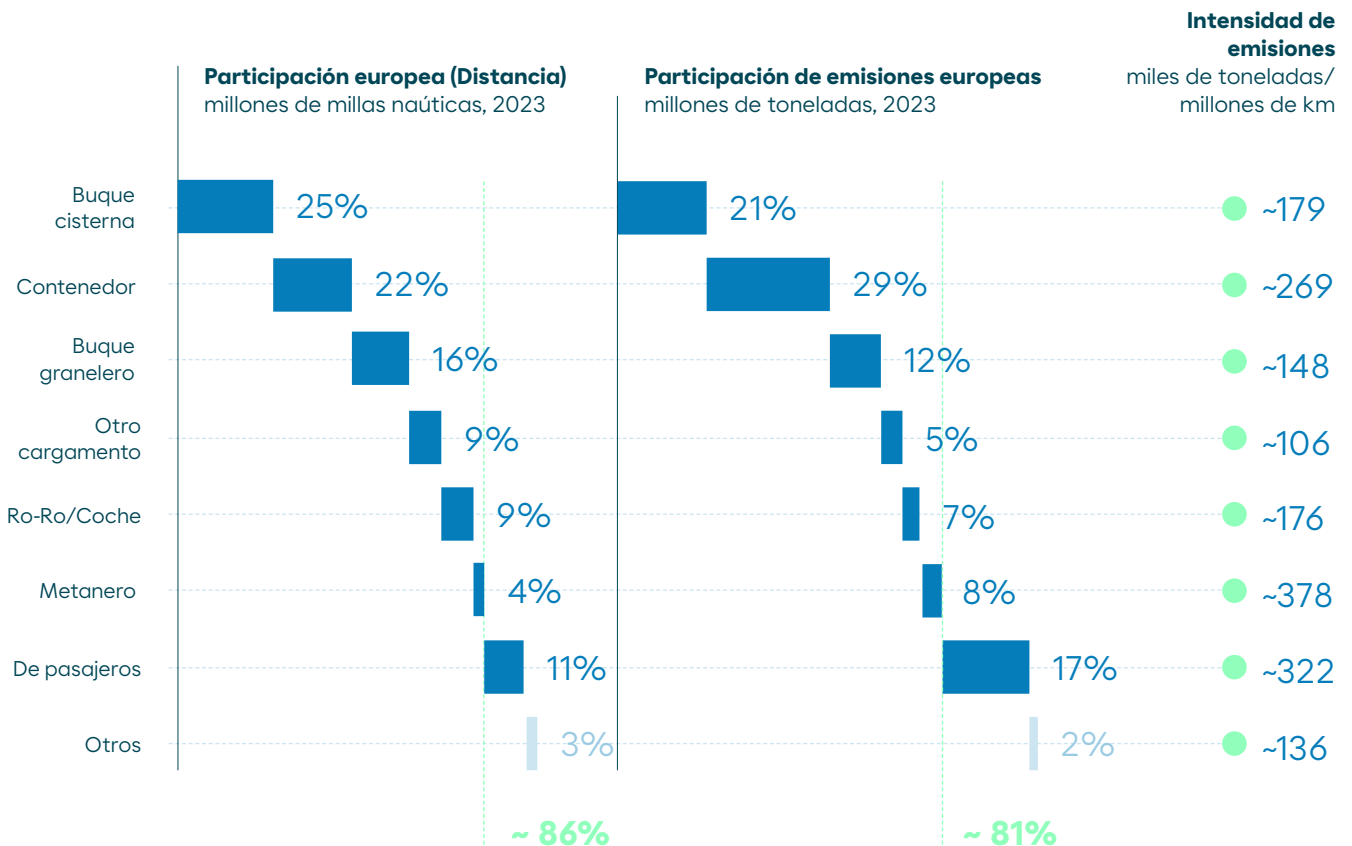
2.2.

Navegando hacia mares sostenibles con transporte marítimo verde

El transporte marítimo desempeña un papel clave en el volumen del comercio global con un 80% de participación, según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, y sirve como columna vertebral de las cadenas de suministro internacionales. Este sector comprende una amplia gama de segmentos diseñados para requisitos de transporte específicos, considerando factores como el tamaño del buque, el tipo de carga (contenedores, carga a granel, etc.), la distancia de transporte (corta, media o larga distancia) y la naturaleza de la ruta (servicios regulares o tramp). Los principales tipos de buques dentro de este sector incluyen transportadores de carga a granel, transportadores de petróleo, contenedores, metaneros, y de pasajeros, entre otros.

La mayoría de los barcos dentro del sector son grandes embarcaciones diseñadas para el transporte de mercancías y diferentes tipos de cargas a distancias medias-largas. Estas embarcaciones representan colectivamente aproximadamente el 86% de las distancias recorridas (millas náuticas) y contribuyen con alrededor del 81% de las emisiones globales del sector, como se muestra en la figura a continuación.

Figura 14 Principales tecnologías en el sector marítimo



Fuentes: Informe 2024 de la Comisión Europea para el transporte marítimo

Entre la flota global existente de barcos, aproximadamente el 98% depende de combustibles tradicionales como el aceite combustible o el diésel marino, mientras que el 2% restante consiste en barcos que utilizan combustibles duales, lo que les permite usar hidrocarburos o combustibles alternativos como LNG (gas natural licuado), LPG (gas licuado de petróleo), baterías, metanol y otros. Estos combustibles alternativos están volviéndose más comunes en los barcos recién encargados. Según DNV (Det Norske Veritas)³⁴ y AFI, entre 2023 y 2024 se produjo un aumento interanual del 38% en los pedidos de buques alimentados por combustibles alternativos. En 2024, además, 264 buques fueron propulsados por LNG, un combustible que puede reducir alrededor del 20-30% de las emisiones de CO₂ en comparación con los combustibles convencionales, según IRENA³⁵.

Dado su extenso papel en el comercio global y el uso predominante de tecnología impulsada por combustibles fósiles, el sector marítimo contribuye con el 5%³⁶ de las emisiones totales de Europa, siendo un sector que presenta desafíos inherentes en términos de descarbonización. La larga vida útil de los barcos, aproximadamente de 25-30 años, resulta en períodos prolongados de recuperación de la inversión y la adopción tardía de nuevas tecnologías respetuosas con el medioambiente. Además, el sector exhibe una estructura comercial compleja que involucra a múltiples partes interesadas, incluyendo a propietarios de barcos, gerentes técnicos, operadores de embarcaciones, propietarios de carga, puertos y operaciones de terminales.

El sector marítimo ha experimentado una transformación global en los últimos años para abordar la contaminación ambiental y reducir las emisiones que afectan a la calidad del aire, como el dióxido de azufre, el óxido de nitrógeno y el dióxido de carbono. Esta transformación inicialmente se centró en la reducción de las emisiones de azufre, un importante contaminante de los barcos. La Organización Marítima Internacional (IMO) aprobó una regulación que entró en vigor en 2020, obligando a los barcos a usar combustibles con un contenido máximo de azufre del 0,5% y 0,1% en áreas de control de emisiones, frente al 3,5% permitido anteriormente. En línea con estas regulaciones de la IMO, se ha impulsado en los últimos años el uso de combustibles con menor contenido de azufre, principalmente el Aceite Combustible de Bajo Azufre (LSFO) y el gasóleo marino (MGO). De forma paralela, se han comenzado a explorar nuevos combustibles alternativos y más ecológicos como el LNG, el metanol, etc., así como el uso de depuradoras, que son sistemas de purificación de emisiones atmosféricas.

A pesar de los esfuerzos de los últimos años en la descarbonización del sector marítimo, se esperan cambios aún más significativos con la aprobación de las metas de reducción de emisiones establecidas por la IMO en abril del 2025. Las metas de reducción de emisiones son del 8% - 21% para 2030, y del 30%-43% para 2035, sobre 2008. La regulación incluye penalizaciones económicas para los operadores que no alcancen estos objetivos y recompensas para quienes superen los objetivos, además de incentivar el uso de combustibles ZNZ (Zero or near Zero) a través del fondo IMO Net Zero. Si bien la aprobación legalmente vinculante de estas medidas estaba prevista para octubre de 2025, la decisión final de adopción ha sido postpuesta a 2026.

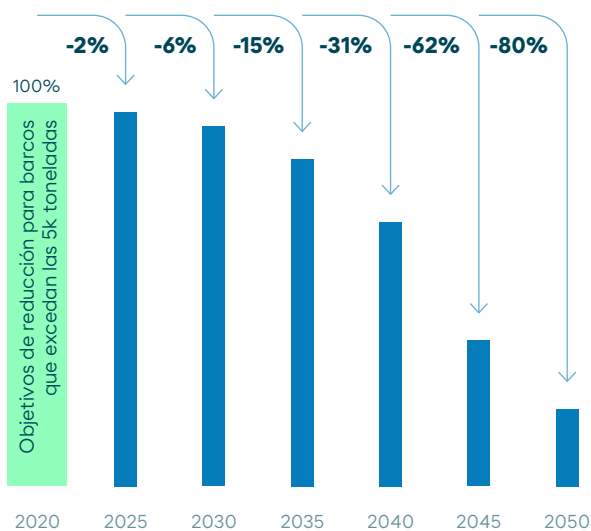
Antes de que se aprobaran los objetivos de reducción de emisiones de la IMO, la Unión Europea aprobó el FuelEU Marítimo en julio de 2023, estableciendo objetivos, en su momento ambiciosos, para descarbonizar el sector. Sin embargo, estos objetivos se han quedado cortos con respecto a los nuevos objetivos fijados por la IMO. El FuelEU Marítimo estableció un objetivo de reducción de emisiones del 2% para 2025 y del 6% para 2030 en comparación con los niveles de 2020, y objetivos del 31% y 80% para 2040 y 2050, respectivamente. Como parte de estos objetivos, se ha establecido un subobjetivo menor respecto a los Combustibles Renovables de Origen No Biológico (RFNBO), apuntando a una participación del 2% para 2034 si la participación en 2031 es inferior al 1%.

³⁴ "Maritime Forecast to 2050", DNV

³⁵ "A pathway to decarbonize the shipping sector by 2050", IRENA

³⁶ European Environment Agency, (2024)

Regulación de la UE para el sector marítimo [%]



Factores clave de la regulación de emisiones

- 1 Los objetivos de la reducción de emisiones de la UE se aplican a los barcos con un arqueado bruto superior a 5000 (c.55% de todos los barcos c.90% de las emisiones en el sector marítimo) que hacen escala en puertos europeos¹
- 2 Subobjetivo de una participación del 2% de RFNBO para 2034
- 3 Acceso obligatorio a la electricidad en los puertos de la UE a partir de 2035 para las necesidades eléctricas de los buques
- 4 Multiplicador en el que la energía de RFNBO cuenta doble hasta 2034
- 5 Los biocombustibles de primera generación no serán elegibles para las obligaciones de reducción de emisiones

Notas: (1) Excluyendo los buques pesqueros
Fuentes: Comisión Europea; Análisis Moeve

Se ha expresado preocupación acerca de que los objetivos europeos no sean suficientes para lograr la neutralidad de carbono para el año 2050. Se sugiere que dichos objetivos deberían alinearse más estrechamente con los nuevos estándares aprobados por la Organización Internacional Marítima (IMO). Además, al enfocarse en un objetivo de reducción de emisiones en lugar de establecer metas específicas para el uso de combustibles verdes, existe el riesgo de que se favorezca el uso de combustibles de transición, como el gas natural licuado (LNG), en lugar de fomentar plenamente la adopción de moléculas verdes.

Un paso significativo que dio la Unión Europea en abril del 2023 para reducir las emisiones de CO₂ fue la incorporación del sector marítimo en el Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (ETS). Desde el 1 de enero de 2024, el sector marítimo está obligado a asumir el coste de las emisiones de CO₂, lo que contribuye a disminuir la competitividad de los combustibles fósiles en comparación con las alternativas renovables.



La implementación de regulaciones de emisiones más estrictas en el sector marítimo, un componente esencial del comercio global, podría presentar desafíos significativos y afectar al flujo del tráfico comercial internacional.

Para lograr la reducción de emisiones en el sector marítimo, se deben considerar tres palancas principales, según fuentes públicas como IRENA: reducir la demanda, mejorar la eficiencia tecnológica y hacer la transición a moléculas verdes. Este cambio podría resultar en una reducción del 60-70% en las emisiones del sector.



Evaluación tecnológica

Como se mencionó anteriormente, el sector marítimo abarca varios tipos de embarcaciones según las necesidades de transporte. De manera similar, estas embarcaciones tienen una amplia gama de alternativas de descarbonización dependiendo del tipo de combustible utilizado. En 2023, Maersk ya lanzó el primer barco impulsado por metanol verde, mientras que Japón tiene prevista en 2026 la puesta en servicio de barcos impulsados por amoníaco verde.

Al examinar las opciones de descarbonización para los grandes barcos de carga, que contribuyen aproximadamente al 80% de las emisiones marítimas globales, las moléculas verdes emergen como las principales alternativas. Los biocombustibles ya están desempeñando un papel activo en la descarbonización del sector y están preparados para liderar la transición sostenible de la industria marítima a corto plazo. Combustibles como el biometanol, el biometano y el biodiésel muestran potencial en este sentido. Mientras tanto, se espera que los e-combustibles como el e-amoníaco o el e-metanol se expandan a medio y largo plazo para la descarbonización.

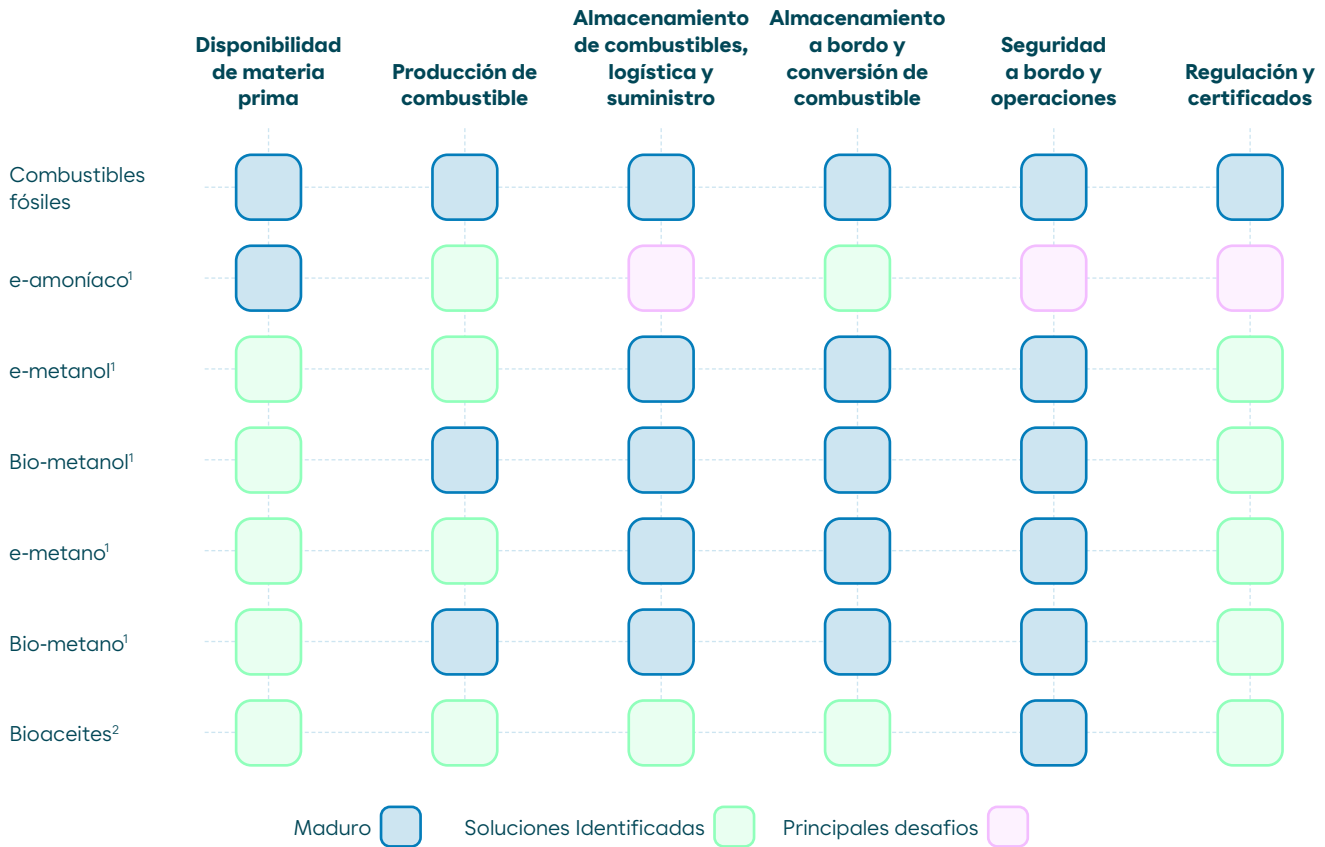
Debido a la alta densidad energética y los requisitos de potencia, las moléculas verdes aparecen como las únicas alternativas viables para descarbonizar grandes embarcaciones (excepto el hidrógeno puro como combustible). La electrificación directa a través de barcos eléctricos a batería o la electrificación indirecta mediante hidrógeno puro y celdas de combustible solo podría ser factible para transbordadores, cruceros con rutas más cortas (50-100 km) o embarcaciones más pequeñas como barcos recreativos y remolcadores, representando una parte menor de la reducción de emisiones de CO₂ marítimas.



Se espera que las moléculas verdes lideren la descarbonización del sector marítimo, ya que son la única tecnología viable para la descarbonización de grandes embarcaciones, representando aproximadamente el 80% de las emisiones totales del transporte marítimo.

Las alternativas de moléculas verdes disponibles para la descarbonización dentro del sector marítimo revelan un panorama complejo caracterizado por niveles de madurez y desafíos variables, como se ilustra en la siguiente figura basada en la evaluación de combustibles marítimos del Centro Mærsk Mc-Kinney Møller para el Transporte Marítimo de Carbono Cero.

Figura 16 Madurez y desafíos de las rutas de combustible



El e-amoniaco y el metanol se posicionan como las tecnologías más favorables; sin embargo, cada ruta presenta sus desafíos específicos en relación con el coste, la escalabilidad y la seguridad tecnológica

1) Estas tecnologías para la producción de combustibles ya son maduras. Sin embargo, el escalado de la producción está limitado por la reducida capacidad de fabricación de electrolizadores y por el acceso al CO₂ biogénico. 2) Bioaceites producidos por licuefacción hidrotermal (HTL) y por pirólisis rápida (FP)

Fuentes: MMM Center for Zero Carbon Shipping

A pesar de los desafíos regulatorios, el amoniaco está emergiendo como un candidato prometedor para la descarbonización. Sus propiedades peligrosas se han gestionado eficazmente durante más de un siglo, y se prevé que los primeros buques propulsados por amoniaco entren en servicio a lo largo de 2026³⁷. Este desarrollo representa un hito significativo en el aprovechamiento del amoniaco renovable, destacando su potencial como una opción viable de energía verde. El amoniaco ya es una mercancía ampliamente comercializada, transportada por los mismos tanqueros que llevan LPG y otros productos químicos líquidos similares. Actualmente, ya se ha desarrollado el primer motor de dos tiempos impulsado por amoniaco para utilizarlo como combustible. Este logro exige superar los retos de seguridad asociados al amoniaco, en particular su toxicidad a bajas concentraciones y su naturaleza corrosiva. El olor penetrante del amoniaco, incluso en cantidades mínimas, puede causar un malestar olfativo significativo. Además, su combustión debe controlarse cuidadosamente para minimizar las emisiones de óxido nitroso (N₂O), un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 273 veces mayor que el CO₂. La baja densidad energética del amoniaco, aproximadamente un tercio de la de los aceites combustibles convencionales, limita aún más el espacio para el transporte de carga a bordo de los barcos.

³⁷ "The world's first complete commercial ammonia fueled engine has been accomplished", (2025) J-ENG

El primer abastecimiento de amoníaco del mundo se completó en Singapur en marzo de 2024, y varios estudios han proporcionado datos iniciales sobre los riesgos asociados y las posibles medidas de seguridad. Sin embargo, se necesita más trabajo para habilitar completamente el amoníaco como una solución en la transición del sector. Esto incluye realizar evaluaciones de riesgos, desarrollar protocolos de seguridad operativa, establecer directrices portuarias y llevar a cabo más pruebas y proyectos piloto en el mundo real.

El metanol, posicionado como la alternativa preferida y más desarrollada a nivel tecnológico, cuenta con propiedades químicas favorables y requiere modificaciones mínimas de infraestructura para el abastecimiento. Manejado como un líquido a presión atmosférica y almacenado en tanques convencionales como el diésel tradicional, el metanol presenta una solución prometedora. Sin embargo, los desafíos relacionados con la disponibilidad de recursos, como el CO₂ biogénico y la biomasa, plantean problemas potenciales de escalabilidad y adopción a largo plazo. Además, el metanol es un químico tóxico más inflamable que el amoníaco y arde con una llama casi invisible, lo que requiere estrictos protocolos de seguridad. No obstante, desde que se lanzó el primer barco impulsado por metanol hace más de una década, la experiencia en el abastecimiento de metanol ha aumentado, y ahora multitud de puertos globales ofrecen este servicio.

Por otro lado, se han desarrollado marcos regulatorios, incluido el Código IGC de la IMO y varias directrices específicas de puertos y listas de verificación operativas, que apoyan el abastecimiento de metanol en los últimos años. La reutilización de la infraestructura existente surge como una consideración clave para el desarrollo futuro de estas tecnologías de combustible. El biometano, por ejemplo, podría aprovechar la infraestructura de LNG establecida, mientras que el metanol podría reutilizar la infraestructura de diésel existente. Además, estudios de la Agencia Internacional de Energía (IEA) sugieren que la infraestructura de LNG puede convertirse en amoníaco sin incurrir en costes excesivos o modificaciones significativas. Esto resalta la adaptabilidad y la potencial rentabilidad de reutilizar la infraestructura existente para acomodar el escenario en evolución de las moléculas verdes en los esfuerzos de descarbonización marítima.

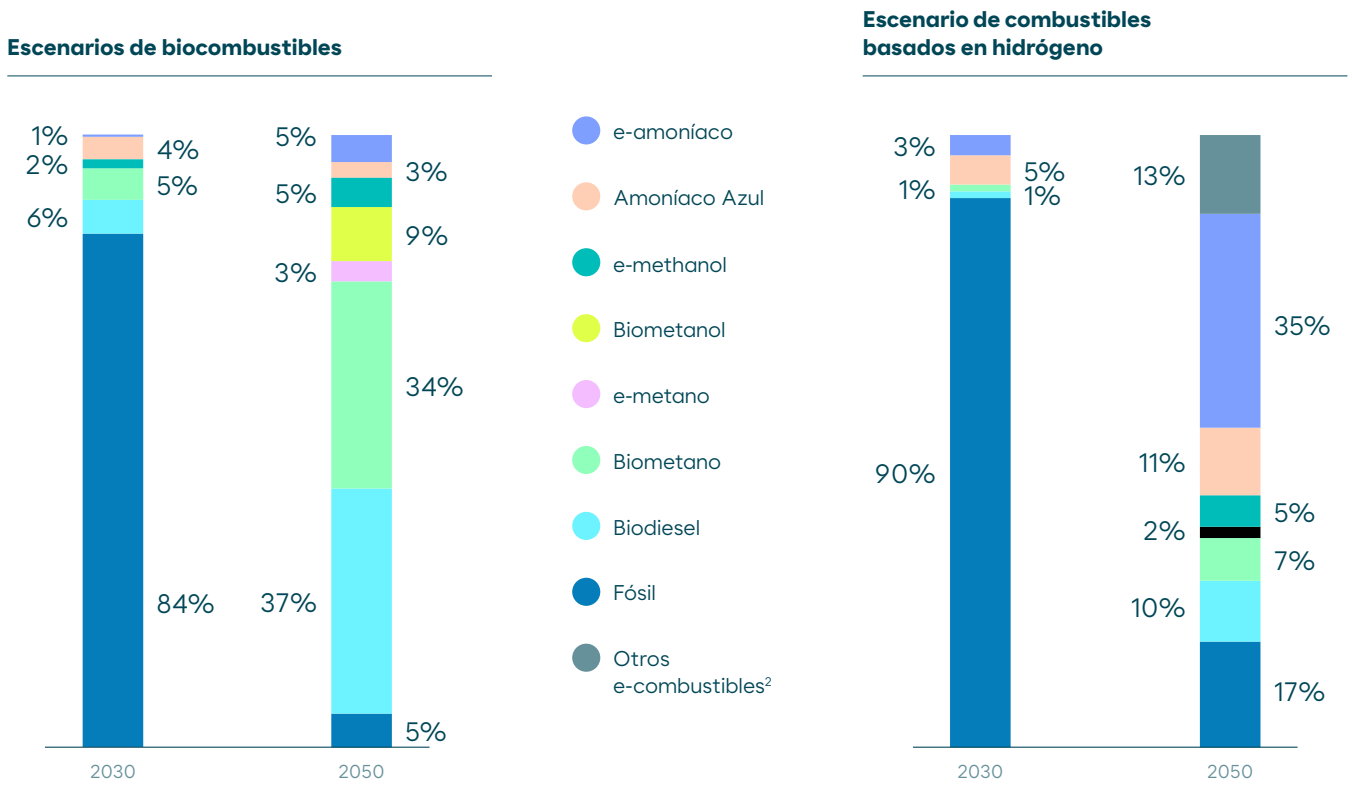
Demanda futura

El escenario futuro de las moléculas verdes en el sector marítimo estará significativamente influenciado por varios factores clave, lo que lleva a un cierto grado de incertidumbre. Los impulsores de la demanda futura, principalmente moldeados por la competitividad de los precios del combustible, los marcos regulatorios y la disponibilidad de recursos, introducen complejidades debido a los desarrollos en curso en las tecnologías necesarias. Además, la disponibilidad futura de recursos esenciales, como la biomasa o el CO₂ biogénico, podría influir en los escenarios de adopción de combustibles futuros.

Lloyd's³⁸, en un estudio exhaustivo que analiza las proyecciones de combustibles futuros de los principales actores del mercado como DNV, IRENA, IEA y el Centro Maersk Mc-Kinney Moller para el Transporte Marítimo de Cero Emisiones, entre otros, destaca dos tendencias predominantes: escenarios basados en hidrógeno y escenarios de biocombustibles. Si bien los escenarios basados en hidrógeno son más prevalentes, el estudio sugiere que la mezcla de combustibles futura probablemente no estará dominada por una única fuente de combustible. La mayoría de los escenarios proyectan que ningún combustible tendrá una participación superior al 50% para 2050, lo que indica un enfoque diversificado y equilibrado entre biocombustibles y combustibles basados en hidrógeno en el sector marítimo.

³⁸ Lloyd's Register Maritime Decarbonization Hub. (2023). The future of maritime fuels.

Figura 17 Desglose de la mezcla de combustibles de Lloyd basado en los valores medios de los escenarios analizados¹



Notas: (1) 9 escenarios de biocombustibles y 14 escenarios de e-combustibles de DNV, IRENA, IEA, Maersk Mc-Kinney Moller Center for Zero Emission Shipping, Clarksons Research, Ricardo Energy & Environment, ABS, UMAS & E4tech; (2) Hidrógeno y e-MGO.
Fuentes: Lloyds Register; Análisis Moeve



La mezcla de combustibles marítimos del futuro será diversa, liderada por moléculas verdes como biocombustibles y derivados del hidrógeno. No se espera que ninguna alternativa domine, con ningún combustible superando una participación del 50% para 2050.

Aunque el alineamiento del mercado prevé una adopción limitada de metanol en el sector marítimo, las tendencias recientes en la ordenación de nuevos buques sugieren un interés e inversión más significativa en este combustible alternativo. Esta aparente disparidad subraya los desafíos complejos asociados con la previsión precisa de la trayectoria de la industria, ya que variables como los costes tecnológicos en evolución y los paisajes regulatorios introducen elementos dinámicos que pueden impactar las preferencias y decisiones del mercado.

Las previsiones más bajas para la adopción de metanol están notablemente moldeadas por las barreras económicas percibidas relacionadas con la captura de CO₂. A medida que el sector marítimo lidia con la viabilidad económica de adoptar moléculas verdes, particularmente aquellas que involucran tecnologías de captura de carbono, queda claro que las futuras elecciones de la industria estarán intrínsecamente ligadas a la dinámica de costes en evolución y los avances tecnológicos en el ámbito de los combustibles sostenibles para el transporte marítimo. Además, entre los escenarios del mercado, se espera que el amoniaco verde sea el combustible marítimo más popular a largo plazo, impulsado por la amplia disponibilidad de N₂, la competitividad del combustible y el TCO (coste total de propiedad).

En conclusión, el sector marítimo navega por la incertidumbre respecto a la futura adopción de tecnologías de descarbonización, ya que hay varias alternativas disponibles. Sin embargo, es evidente que será necesario un mix de soluciones, cada una contribuyendo al objetivo de neutralidad de carbono de la industria para 2050. Aunque algunos combustibles y soluciones pueden requerir más tiempo para escalar, un hilo común en todos los escenarios es el papel indispensable de las moléculas verdes, tanto biocombustibles como soluciones sintéticas, emergiendo como la solución más prometedora y prácticamente factible para descarbonizar la industria marítima.



2.3.

Soluciones SAF para una aviación más verde

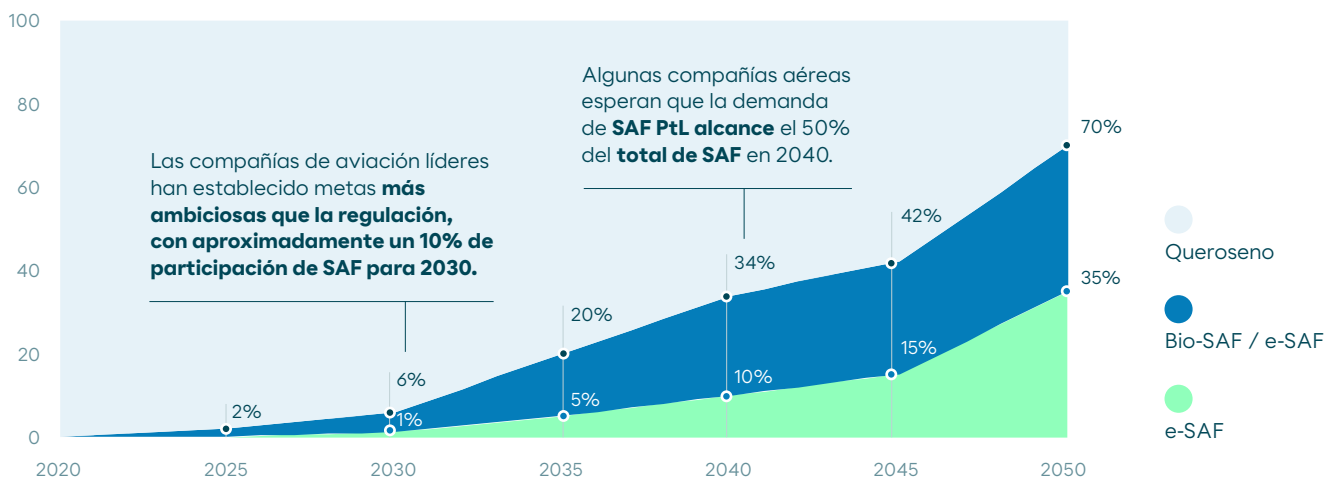
La industria de la aviación es un sector de gran relevancia, que desempeña un papel fundamental en el avance de la sociedad moderna al facilitar el turismo, los negocios globales y el comercio. Según la Comisión Europea, su contribución significativa al crecimiento económico europeo se subraya por el hecho de que más de 1.000 millones de pasajeros vuelan cada año hacia, desde y entre la Unión Europea, constituyendo un tercio del mercado global³⁹. El sector de la aviación europea, reconocido como uno de los segmentos de mejor desempeño de la economía europea, ocupa una posición de liderazgo en el escenario global.

Sin embargo, no se puede pasar por alto el impacto sustancial de la aviación en las emisiones. Representando aproximadamente el 16% de las emisiones de CO₂ del sector del transporte y el 5% de las emisiones totales de la Unión Europea⁴⁰, la aviación enfrenta el desafío de ser un sector difícil de descarbonizar.

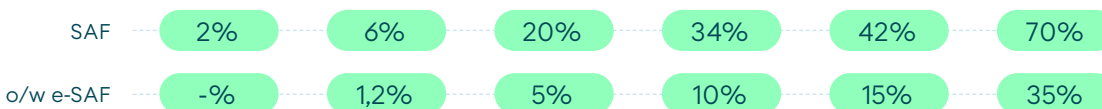
Las políticas regulatorias europeas han establecido objetivos ambiciosos de descarbonización para el sector a través de la iniciativa ReFuelEU Aviación, adoptada en octubre de 2023. La adopción de SAF es un componente clave de estos objetivos, con metas para aumentar la participación de SAF al 6% para 2030, 34% para 2040 y un ambicioso 70% para 2050. También se han establecido objetivos específicos para e-SAF, con el propósito de alcanzar el 35% para 2050, destacando el compromiso de la industria de adoptar soluciones innovadoras para reducir su huella de carbono. Además, desde 2024, la asignación de derechos de emisiones de CO₂ gratuitos bajo el ETS disminuye gradualmente hasta 2026, proporcionando incentivos para la eliminación progresiva de los combustibles fósiles.



Figura 18 Evolución de los objetivos regulatorios de SAF de ReFuel Aviación



El objetivo REFuelEU Aviación



Fuentes: IEA; ReFuelEU Aviation; Análisis Moeve

³⁹ "Number of air passengers up 8% in 2024", Eurostat

⁴⁰ European Environment Agency, (2024)

La Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) alinea sus objetivos con los de la Unión Europea, delineando una trayectoria para aumentar la adopción de SAF. La ICAO prevé una participación del 5,2% para 2030, 39% para 2040 y un ambicioso 65% para 2050⁴¹. Estos objetivos alineados entre la industria y los organismos reguladores reflejan un compromiso compartido para transformar el sector de la aviación en una entidad más sostenible y consciente del medioambiente, abordando los desafíos del crecimiento de las emisiones en el contexto de la importancia económica global.

Varios países europeos han establecido objetivos nacionales de SAF que superan los establecidos por las regulaciones europeas. Por ejemplo, el Reino Unido apunta a una adopción del 10% de SAF para 2030, mientras que los países nórdicos (Noruega, Suecia y Finlandia) tienen como objetivo el 30%. Los Países Bajos han establecido un objetivo de adopción del 14% de SAF para 2030. Fuera de Europa, países como Singapur y Canadá también han establecido objetivos de adopción de SAF del 5% y 10%, respectivamente, para 2030. No obstante, los objetivos regulatorios establecidos a través de ReFuelEU Aviación no serán suficientes para alcanzar la neutralidad climática en el sector. Según el Grupo de Acción del Transporte Aéreo (ATAG) en su informe Waypoint 2050⁴², lograr la reducción de emisiones y la neutralidad climática en el sector de la aviación requiere la activación de cuatro palancas distintas. Estas cuatro líneas de acción abarcan un enfoque holístico para abordar los desafíos multidisciplinares de la descarbonización del sector de la aviación:

- **Avances en tecnología y eficiencia:** esta palanca podría reducir hasta un 22% las emisiones de la aviación. Las innovaciones en sistemas de propulsión, materiales y aerodinámica contribuyen a reducir el consumo de combustible y las emisiones. Desarrollar y adoptar nuevas tecnologías, como aviones eléctricos e impulsados por hidrógeno en vuelos de corta distancia, son componentes clave de esta estrategia.
- **Mejoras operativas:** mejorar la eficiencia operativa de las aerolíneas, optimizar las rutas de vuelo y mejorar los sistemas de logística y gestión de aeropuertos y tráfico aéreo contribuyen a reducir el impacto ambiental del transporte aéreo. Esta palanca enfatiza la necesidad de prácticas más sostenibles en todo el ecosistema de la aviación y podría reducir hasta un 10% las emisiones del sector.
- **Adopción de SAF:** esta palanca subraya la necesidad de inversiones sustanciales en la producción, distribución y adopción de SAF, abarcando tanto alternativas basadas en biomasa como en hidrógeno. Actualmente, no existe una hoja de ruta de la UE sobre cómo escalar en su producción, mientras que EE. UU. ha apoyado la producción de SAF bajo la Ley de Reducción de la Inflación. Facilitar la investigación y el desarrollo en fuentes de combustible alternativas, apoyar la ampliación de las instalaciones de producción de SAF e implementar políticas que fomenten su uso son componentes fundamentales de esta estrategia. Esto emerge como un facilitador principal para lograr reducciones sustanciales de emisiones, con estimaciones que indican una posible reducción de más del 60% en las emisiones del sector de la aviación, particularmente en vuelos de media y larga distancia, que constituyen más del 90% de las emisiones del sector según EuroControl⁴³.
- **Otras medidas de mercado y regulación:** activar esta palanca implica implementar medidas de mercado y regulaciones que incentiven y hagan cumplir prácticas sostenibles dentro de la industria de la aviación. Esto incluye establecer objetivos de reducción de emisiones, introducir mecanismos de fijación de precios del carbono y actualizar regulaciones para garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales. Los enfoques basados en el mercado, como el comercio de emisiones, pueden ser herramientas efectivas para llevar a la industria hacia operaciones climáticamente neutrales.

⁴¹ "Third Conference on aviation and alternative fuels (CAAF/3)", International Civil Aviation Organization

⁴² "Waypoint 2050", Aviation Benefits Beyond Borders

⁴³ "Eurocontrol data snapshot CO₂ by distance", Eurocontrol

Por lo tanto, la industria de la aviación reconoce a SAF como la alternativa viable principal para descarbonizar vuelos de media y larga distancia, que representan el 80-90% de las emisiones del sector. Estos combustibles presentan soluciones prácticas para la reducción inmediata de emisiones.

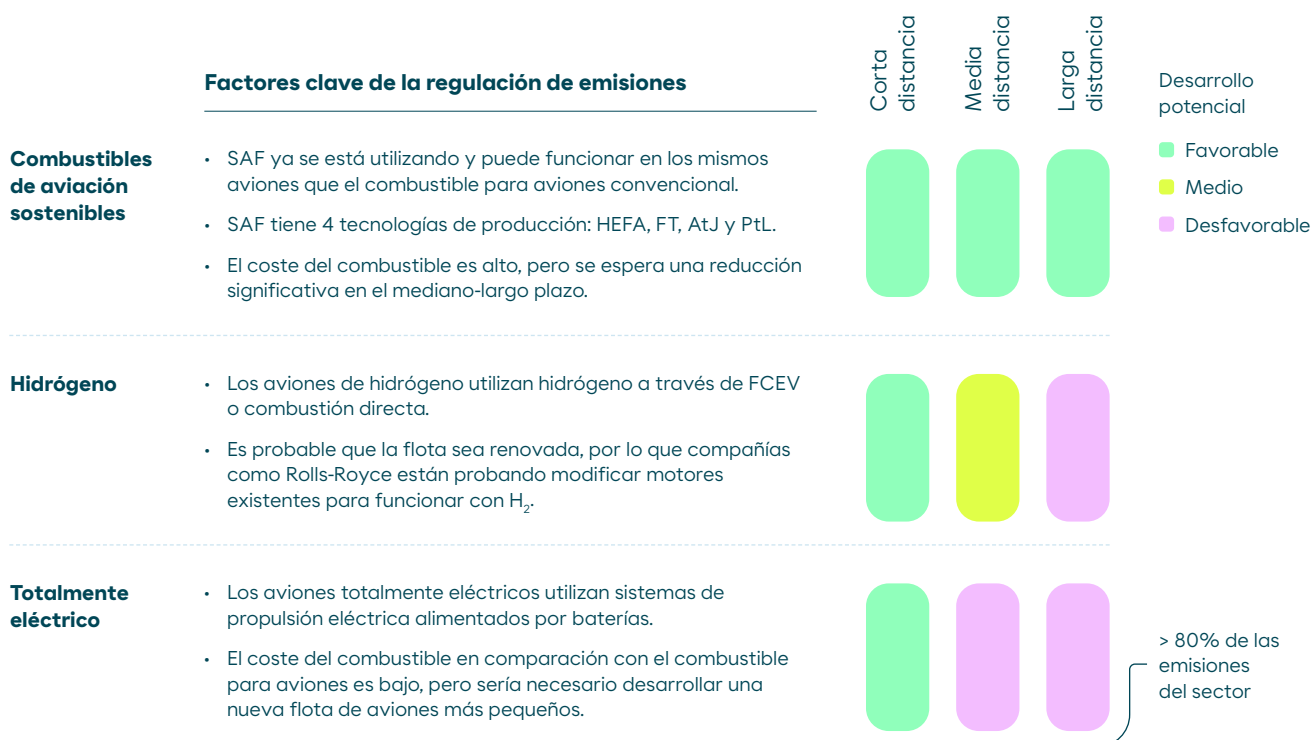


La industria de la aviación reconoce el Combustible de Aviación Sostenible (SAF) como la única solución viable para descarbonizar vuelos de media y larga distancia, responsables del 80-90% de las emisiones del sector.

Para vuelos de corta distancia, que representan menos del 10% de las emisiones del sector, el enfoque está en explorar alternativas potenciales a largo plazo. Los aviones híbridos o eléctricos de hidrógeno podrían desempeñar un papel en la descarbonización de vuelos de corta distancia, mientras que otras opciones de transporte como los ferrocarriles se consideran competidores en proporcionar viajes sostenibles para distancias más cortas.

Una ventaja notable de SAF es su compatibilidad con la infraestructura existente. Esto significa que la adopción de SAF no requiere cambios técnicos significativos en los aviones, los sistemas de combustible de los motores, la distribución o las instalaciones de almacenamiento. Esta ventaja facilita una integración más fluida de prácticas sostenibles en la industria de la aviación sin necesidad de una revisión completa de su infraestructura.

Figura 19 Visión general y madurez de las tecnologías de descarbonización de la aviación para 2050



Fuentes: análisis Moeve

Evaluación tecnológica

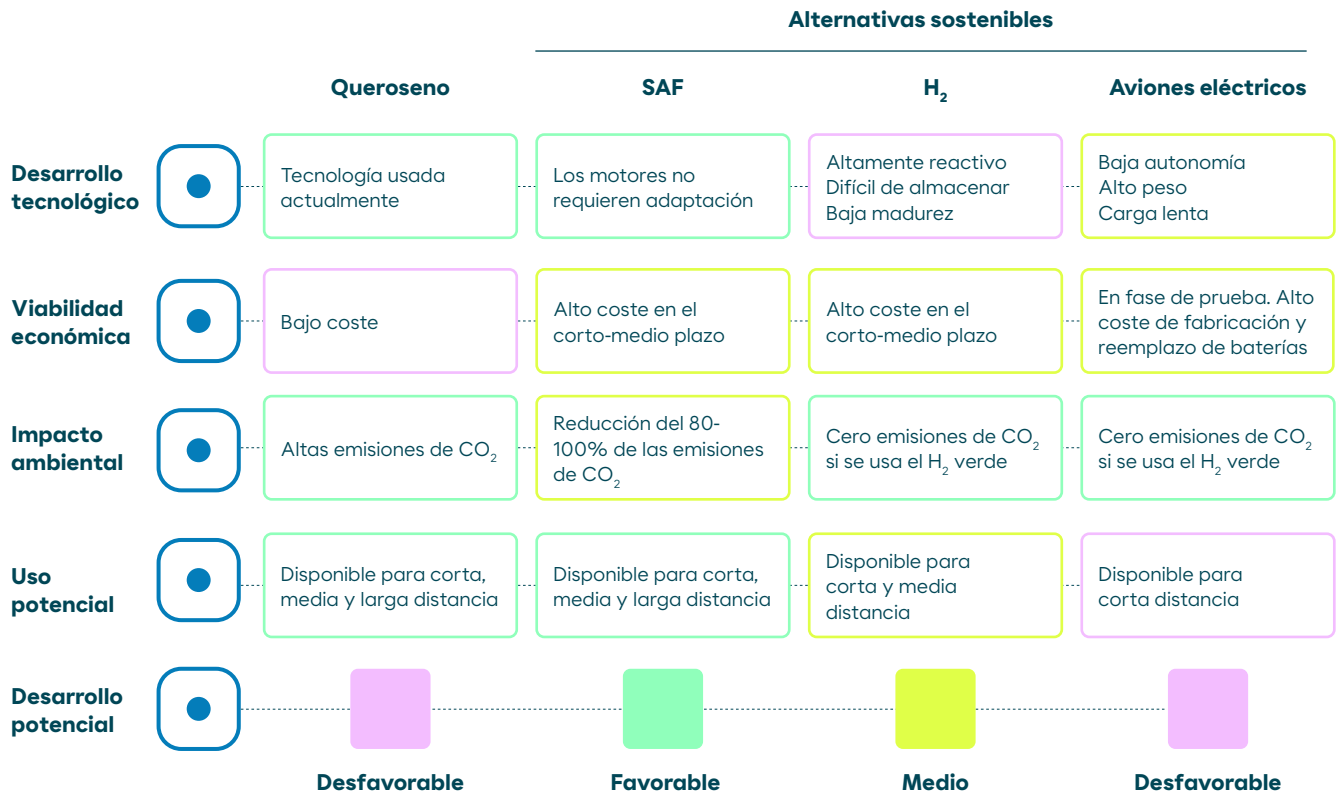
El sector de la aviación enfrenta desafíos significativos en la integración de nuevas tecnologías, impulsados principalmente por dos factores clave. En primer lugar, la prolongada vida útil de los aviones actuales, que ronda los 25 años de media, representa un obstáculo sustancial. En segundo lugar, el complejo proceso de desarrollar tecnologías que cumplan con requisitos estrictos y pruebas de seguridad para vuelos comerciales de pasajeros complica los desafíos de adopción de la industria.

Al explorar tecnologías alternativas para reducir las emisiones del sector, surgen tres posibilidades. El SAF emerge como la alternativa principal a corto y medio plazo. Mientras tanto, las soluciones eléctricas o de hidrógeno se consideran alternativas prospectivas para tipos específicos de vuelos a largo plazo. Sin embargo, las barreras de entrada para las tecnologías eléctricas y de hidrógeno son sustanciales, dada su ausencia actual en el mercado y la necesidad de diseños completamente nuevos.

Las soluciones eléctricas y de hidrógeno, aunque prometedoras, enfrentan limitaciones inherentes. Estas tecnologías están diseñadas principalmente para vuelos de corta distancia y pueden enfrentar desafíos relacionados con las limitaciones de densidad energética cuando se aplican a vuelos de mayor distancia. Además, en el ámbito de los vuelos cortos, compiten con modos de transporte eléctrico alternativos bien establecidos, como los trenes de alta velocidad, que proporcionan una alternativa creíble y establecida para descarbonizar este transporte en toda la Unión Europea.

Posicionado como la única alternativa viable para descarbonizar los combustibles fósiles en el sector, el SAF se dirige específicamente a vuelos de media y larga distancia, que representan el 80-90% de las emisiones de CO₂ del sector. Dado que la aviación opera casi en su totalidad con combustibles fósiles, el SAF, especialmente el de origen biológico, ya disponible y con un alto grado de madurez tecnológica, se presenta como una solución inmediata para avanzar en la descarbonización del sector. Las certificaciones existentes permiten que el SAF se mezcle con combustible convencional hasta en un 50%, facilitando una implantación inmediata. Anticipando objetivos de reducción de emisiones más estrictos a largo plazo, el SAF está preparado para una transición sin problemas hacia la adopción total como el combustible exclusivo para el uso de aeronaves, alcanzando hasta el 100% de uso a medio y largo plazo sin problemas técnicos significativos.

Figura 20 Tecnologías disponibles para el sector de la aviación



Fuentes: análisis Moeve

Dentro de la categoría de SAF, se pueden identificar dos grupos distintos según el origen de los recursos necesarios para su producción y el proceso de síntesis. Estos grupos son el SAF de base biológica, producido a partir de compuestos orgánicos, y el SAF sintético o PtL, derivado del hidrógeno verde y el CO₂ capturado de fuentes industriales o directamente del aire. Además, vale la pena señalar que diferentes SAF exhiben características variables en la reducción de emisiones a lo largo de su ciclo de vida.

El SAF de origen biológico se perfila como la principal alternativa para descarbonizar el sector de la aviación. Su alto grado de madurez tecnológica, junto con la amplia disponibilidad de materias primas, lo convierten en una opción estratégicamente posicionada para escalar rápidamente e integrarse de forma creciente en la industria. Dentro del SAF de origen biológico, se pueden distinguir tres tipos diferentes de combustibles:

- **Proceso HEFA (Ésteres y Ácidos Grasos Hidroprocesados):** actualmente, esta es la ruta de producción de biocombustibles para aviones más avanzada. Implica el procesamiento de aceites vegetales, desechos y lípidos residuales. Estos materiales se tratan con hidrógeno para eliminar el oxígeno y descomponer los compuestos en hidrocarburos aptos, que luego se isomerizan para crear SAF. El proceso HEFA está certificado para una proporción de mezcla del 50%.
- **Proceso AtJ (Alcohol a Jet):** representa una alternativa a la tecnología FT, aunque actualmente no cumple con los estándares de ReFuelEU. El proceso AtJ implica convertir materias primas de biomasa ricas en azúcar o lignocelulósica en alcoholes. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de deshidratación de isobutanol o etanol, seguido de oligomerización, hidrogenación y fraccionamiento. El proceso AtJ está certificado para una proporción de mezcla del 50%.
- **Proceso FT:** esta vía de conversión transforma biomasa y residuos sólidos municipales en biocombustibles utilizando tecnología de síntesis FT (Fischer- Tropsch). La biomasa se gasifica para producir gas de síntesis, que luego se convierte en hidrocarburos parafínicos y olefínicos. Estos compuestos se craquean e isomerizan para producir SAF. El SAF FT está certificado para mezclarse con hasta un 50% de combustible para aviones convencional. Si bien esta producción de bio-SAF a partir de biomasa y residuos sólidos urbanos sigue siendo un reto, el proceso FT también puede aplicarse a otras rutas de producción más maduras, como la obtención de e-SAF mediante la tecnología Power-to-Liquid.



Por otro lado, la tecnología Power-to-Liquid (PtL) permite convertir hidrógeno verde, obtenido mediante electrólisis, y CO₂ en combustible para aviación y otros hidrocarburos, utilizando procesos como la síntesis de Fischer-Tropsch o la ruta de síntesis de metanol. El proceso de metanol aún no está certificado para su uso en aeronaves, mientras que el proceso de síntesis FT en PtL ya está certificado para mezclarse con Jet A1 en una proporción del 50%.

Figura 21 Características de las vías de SAF

	Bio-SAF		E-SAF	
	HEFA	AtJ	FT	Síntesis de metanol
Rutas tecnológicas				
Materia Prima	Aceites vegetales, lípidos de desechos y residuos	Residuos agrícolas y forestales, biomasa rica en azúcares y cultivos de cobertura	Biomasa (agricultura, municipal y masa forestal)	Hidrógeno renovable y CO ₂
Descripción	Materia prima tratada con hidrógeno para eliminar el oxígeno, convirtiendo los compuestos en hidrocarburos adecuados y luego isomerizándolos para crear SAF. Este proceso está certificado para mezclarse hasta un 50%	El proceso AtJ consiste en convertir materias primas de biomasa ricas en azúcares o lignocelulósicas en alcoholes, seguido de un proceso de deshidratación de isobutanol o etanol. El proceso AtJ está certificado para mezclas hasta un 50%	La ruta FT transforma la biomasa y los residuos sólidos urbanos en biocombustibles. La biomasa se gasifica para producir gas de síntesis y luego se convierte, craquea e isomeriza para producir SAF. Está certificado para mezclas hasta un 50%.	Convierte H ₂ verde proveniente de la electrólisis y CO ₂ verde en combustible para aviones y otros productos hidrocarburos utilizando ya sea la ruta FT o la ruta de síntesis de metanol. El proceso de metanol aún no está certificado. La síntesis FT está certificada para una mezcla del 50%. La síntesis FT está certificada para una mezcla del 50% El proceso de metanol aún no está certificado
Reducción de emisiones de efecto invernadero	74-84%	40-70%	85-95%	89-100%
Nivel de madurez (TRL)	8-9	7-8	6-8	5-8

Fuente: EASA; análisis Moeve

Demanda futura

En la Unión Europea, el consumo actual de queroseno es de aproximadamente 45 millones de toneladas, aumentando a casi 60 millones al incluir el Reino Unido y Noruega. Se espera que la futura descarbonización del sector sea impulsada principalmente por la adopción de SAF, según lo establecido en las regulaciones europeas. Las proyecciones de la Comisión Europea⁴⁴ indican un aumento esperado en el consumo a 50 millones de toneladas (UE-27) para 2050, con el Foro Económico Mundial (WEF)⁴⁵ anticipando un aumento adicional a aproximadamente 70 millones de toneladas, incluyendo el Reino Unido y Noruega. Sin embargo, la producción de SAF es actualmente más costosa que el queroseno convencional, y a pesar de los recientes eventos macroeconómicos que han llevado a un aumento en los precios del queroseno, los incentivos aún no son suficientes para hacer que el SAF sea competitivo en costes.

Como resultado, menos del 1% de los combustibles de aviación actualmente son SAF. A nivel mundial, la producción actual de SAF es baja, situándose en alrededor de 4,4 Mtpa. Esta cifra se encuentra muy por debajo de la demanda comprometida voluntariamente por las aerolíneas para 2030, que alcanza los 16,3 millones de toneladas, y aún más lejos del objetivo total marcado por los gobiernos, que asciende a 17,1 millones de toneladas. Sin embargo, los proyectos en curso y anunciados sugieren un aumento significativo, con una producción global de SAF de 23 millones de toneladas anuales en 2030, según el informe de febrero de 2025 de World Economic Forum. De esta producción futura, 11,3 millones de toneladas se consideran casi aseguradas, fruto de ampliaciones de capacidad y proyectos post-FID, aunque aún faltarían 5,8 millones de toneladas para cumplir con los objetivos gubernamentales. A esto se suma una capacidad pre-FID anunciada de 12 millones de toneladas, aunque su concreción no está garantizada. Por tanto, la capacidad prevista para 2030 se sitúa en un rango entre 11,3 y 23,3 millones de toneladas.

Se espera un aumento similar en Europa, que actualmente produce aproximadamente 1,7 Mt de SAF cada año, y se espera que aumente la producción hasta 3,5 millones de toneladas en más de 50 plantas en los próximos 5 años. Cabe destacar que, según el reglamento ReFuelEU, la obligación de SAF para Europa en 2030 se estima en 5,1 millones de toneladas, lo cual requerirá un esfuerzo considerable de incremento en capacidad productiva a nivel regional.

Este aumento en la producción de SAF está impulsado principalmente por el mercado de sostenibilidad voluntaria y las políticas regulatorias con objetivos ambiciosos de su uso desde 2025. El sector de SAF está emergiendo como una alternativa inmediata para descarbonizar la industria de la aviación, atrayendo inversiones y fomentando el desarrollo de plantas de producción de combustibles sostenibles. El mercado de sostenibilidad voluntaria, impulsado por compromisos de “Medioambiente, Social y Gobernanza” (ESG) y las ambiciones de cero emisiones netas de los clientes de las aerolíneas, juega un papel clave en impulsar los esfuerzos de descarbonización y reducir las emisiones de CO₂. Compañías líderes en la aviación, como International Airlines Group (IAG), propietaria de aerolíneas como British Airways, Iberia, Vueling, Aer Lingus y Level, han fijado objetivos ambiciosos. IAG fue la primera en establecer una meta del 10% de participación de SAF para 2030, superando ampliamente el objetivo obligatorio del 6%, y ha destinado una significativa inversión de 865 millones de euros para alcanzar esta meta. Además, algunas aerolíneas han fijado sus propios objetivos voluntarios, como Ryanair, SAS y Norwegian, con metas de SAF del 15% para 2030, y empresas como DHL, FedEx y UPS, que han apuntado a un 30%.

⁴⁴ “Study supporting the impact assessment of the REFuelEU Aviation initiative”, European Union

⁴⁵ “Guidelines for a sustainable aviation fuel blending mandate in Europe”, World Economic Forum



Junto con los esfuerzos de descarbonización voluntaria, las iniciativas regulatorias se han convertido en un impulsor clave en la adopción de SAF, reduciendo la incertidumbre de inversión y proporcionando seguridad de planificación para los productores de combustible y las aerolíneas por igual. En la Unión Europea, los países individuales han promulgado regulaciones para incentivar el uso de SAF a través de mandatos de mezcla de combustibles. Sin embargo, el gran punto de inflexión fue en el año 2023 con el Reglamento ReFuelEU Aviación.

La iniciativa ReFuelEU Aviación hace obligatorio para los proveedores de combustible en toda la Unión Europea asegurar que todo el combustible disponible para los operadores de aeronaves en los aeropuertos de la Unión Europea contenga un porcentaje mínimo de SAF desde 2025. Adicionalmente, para 2030, se requerirá una participación mínima de combustibles sintéticos, con ambas participaciones aumentando progresivamente hasta 2050. Se espera que este marco regulatorio impulse significativamente la adopción de los combustibles sostenibles en la región, alineándose con los objetivos para descarbonizar el sector de la aviación y lograr la neutralidad climática.

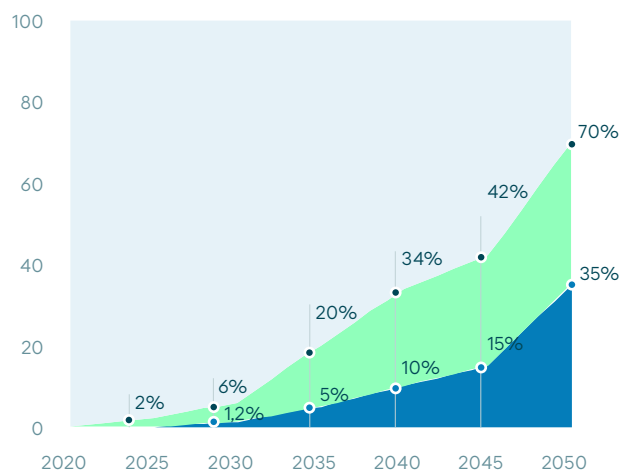
La iniciativa ReFuelEU Aviación establece el escenario principal de adopción de SAF en la Unión Europea, representando la cuota mínima de estos combustibles legalmente requerida. Además, se han considerado escenarios alternativos de adopción, incorporando proyecciones de fuentes reputadas como la IEA y el WEF.

El IEA Net Zero Pathway ha sido elegido como uno de los escenarios alternativos para la adopción de SAF. Este enfoque propone una adopción más acelerada, estableciendo una trayectoria para cumplir con los objetivos climáticos del Acuerdo de París. Lo más destacable de este escenario es que ofrece una visión integral, respaldada por una fuente ampliamente aceptada y reconocida, enfocándose en la eficiencia a nivel de sectores económicos y priorizando la reducción de emisiones en aquellos sectores donde se puede lograr el mayor impacto a un coste más bajo.

Figura 22 Escenarios de adopción de SAF

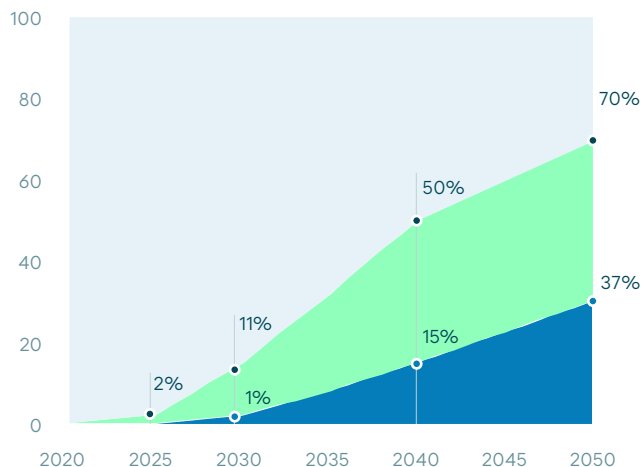
● Queroseno ● Bio-SAF / e-SAF ● e-SAF

ReFuelEU Aviación



IEA Net Zero

El escenario Net Zero de IEA describe un camino más ambicioso, particularmente a corto y medio plazo, con el objetivo de alcanzar un 15% de SAF para 2030 y un 50% para 2040.



Fuentes: Comisión Europea; IEA; Análisis Moeve



2.4.

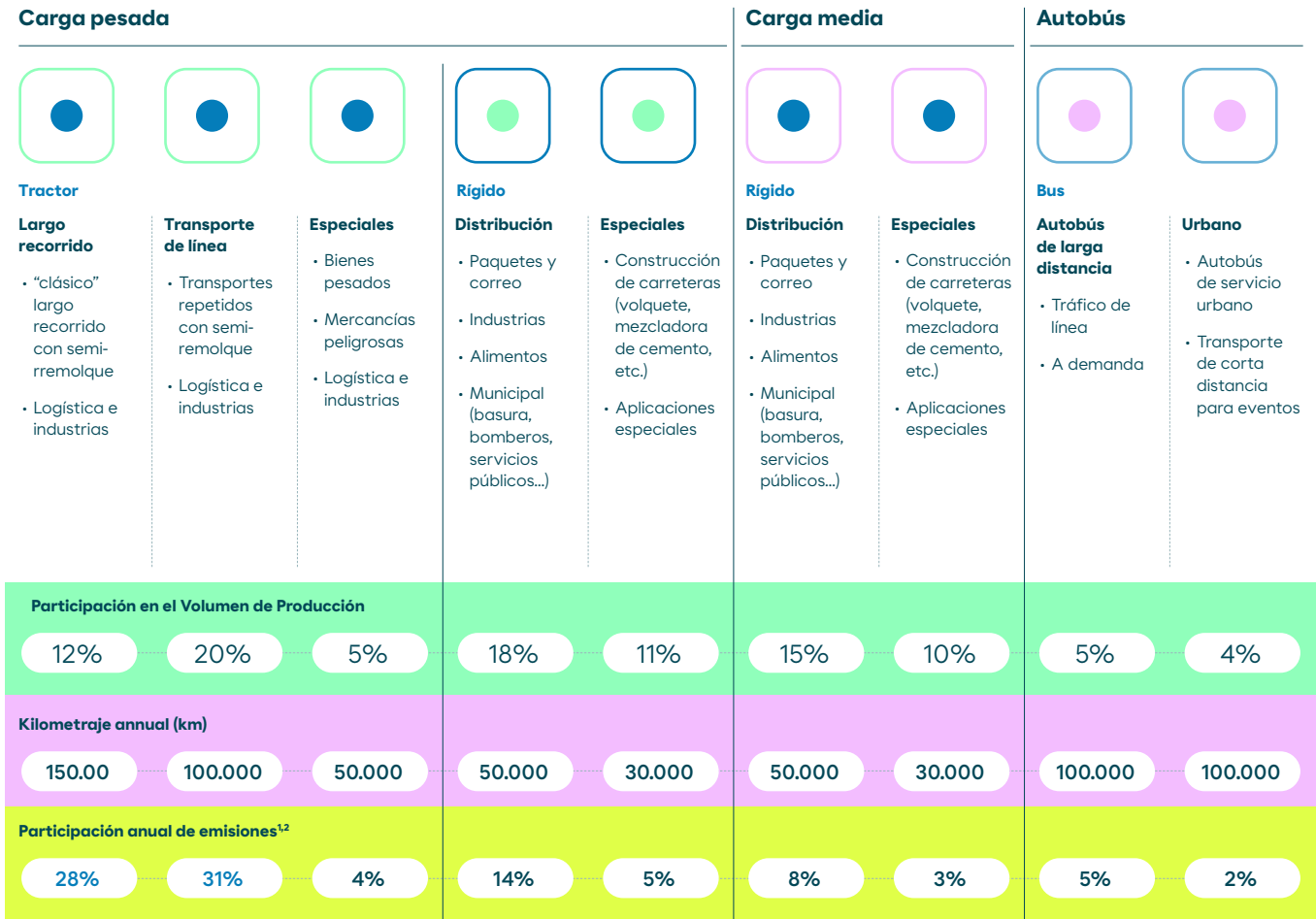
Transformando el transporte por carretera con diésel renovable y celdas de combustible

El transporte por carretera, que abarca tanto vehículos ligeros como pesados, es una pieza clave en el funcionamiento de la sociedad actual. No se limita solo a mover personas y mercancías, sino que es fundamental para la actividad económica, la conexión entre comunidades y el comercio global. Esta vía de transporte no solo mejora la calidad de vida, sino que también promueve el comercio y facilita la cooperación internacional.

Es clave para impulsar la economía y mantenernos conectados, pero el sector del transporte también plantea importantes retos ambientales, especialmente por su contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero. El transporte por carretera representa el 73% de las emisiones totales del transporte y constituye el 20% de las emisiones totales europeas, según la Agencia Europea de Medioambiente. Entre el transporte por carretera, los vehículos pesados (HDV) emergen como el sector más difícil de reducir, contribuyendo hasta casi el 20% de las emisiones totales del transporte y el 5% de las emisiones europeas, convirtiéndolos en un importante contribuyente a las emisiones de gases efecto invernadero. Esta contribución significativa subraya la necesidad urgente de abordar el impacto ambiental del sector del transporte e implementar medidas efectivas para reducir las emisiones de carbono.

Profundizando en el transporte por carretera de vehículos pesados, es posible identificar 9 tipos de usos según la aplicación final. De estos 9 usos, 2 de ellos representan más del 60% de las emisiones y corresponden a los más desafiantes en términos de reducción de emisiones, con un mejor ajuste para la adopción de moléculas verdes, en concreto, el transporte de larga distancia y el transporte de línea.

Figura 23 Segmentos globales de camiones y casos de uso



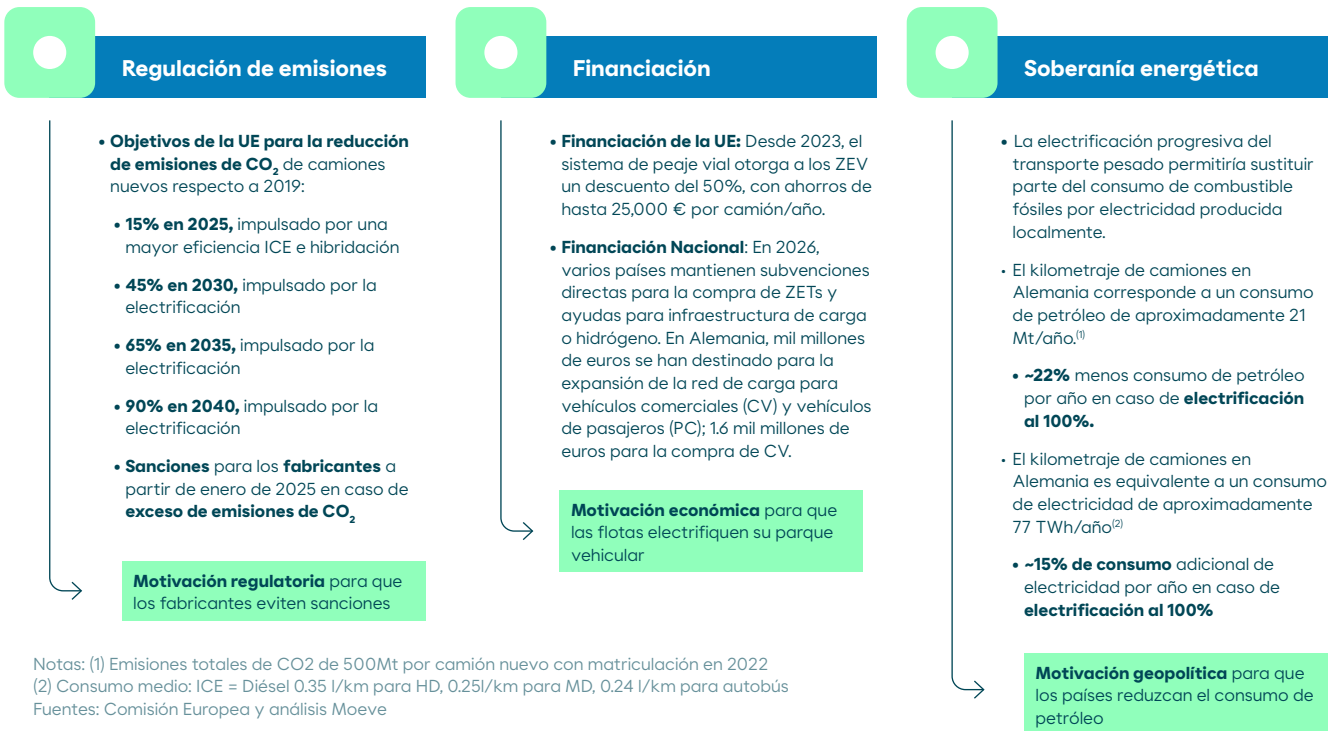
Notas: (1) Emisiones totales de CO2 de 500Mt por camión nuevo con matriculación en 2022 (2) Consumo medio: ICE = Diésel 0.35 l/km para HD, 0.25l/km para MD, 0.24 l/km para autobús
 Fuentes: análisis Moeve



La descarbonización de los HDV europeos está siendo acelerada debido a la regulación de emisiones, a incentivos económicos y a motivaciones geopolíticas. Juntos, estos factores crean un entorno favorable para la adopción de tecnologías sostenibles con los camiones eléctricos de batería (BET) y los camiones de celdas de combustible (FCT), impulsando la descarbonización del transporte de mercancías por carretera.

Los Vehículos Pesados (HDV) abarcan nueve casos de uso, siendo las operaciones de larga distancia y de línea las que representan aproximadamente el 60% de las emisiones.

Figura 24 Motivación para la descarbonización de camiones en Europa



La regulación de emisiones desempeña un papel crucial en el impulso de la descarbonización del sector. La Unión Europea ha implementado dos tipos de medidas regulatorias para abordar las emisiones de CO₂. Un conjunto de regulaciones es amplio y aplica a todos los modos de transporte, mientras que el otro es más específico y adaptado a diferentes tipos de vehículos.



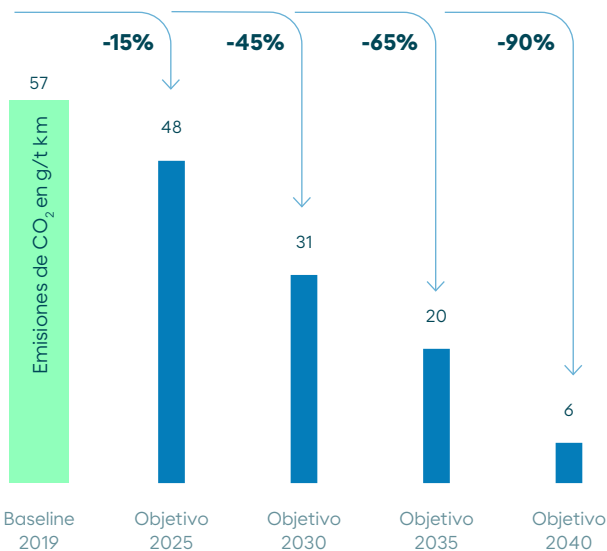


El primer tipo de medidas (RED III) exigen una reducción del 14,5% en las emisiones en comparación con los niveles de 1990, o alternatively, un aumento en la cuota de consumo de energía renovable al 29% para 2030. Esta directiva también incluye subobjetivos, como el suministro del 5,5% en biocombustibles de segunda generación y RFNBO combinado, con un mínimo de 1% de RFNBO. Aunque estos objetivos no se limitan exclusivamente al transporte por carretera, están destinados a tener un impacto profundo en él.

El segundo tipo de medidas está dirigido a la reducción de emisiones de CO₂ por kilómetro de los HDV en comparación con los niveles de 2019 a través de diferentes objetivos temporales. Estos objetivos representan un compromiso significativo con la descarbonización y suponen un cambio crucial hacia un transporte más limpio y sostenible. Concretamente, a 2030, las regulaciones han marcado objetivos de reducción de emisiones del 45%, un aumento considerable respecto al objetivo anterior del 30%. Aprovechando este impulso, la meta se vuelve aún más ambiciosa para 2035, con una reducción objetivo del 65% y para 2040, el objetivo marca una reducción del 90%, subrayando el compromiso a largo plazo con la descarbonización del sector del transporte. Además, la Unión Europea ha revisado recientemente sus objetivos de reducción de emisiones de CO₂ para vehículos ligeros y furgonetas, estableciendo un objetivo ambicioso de lograr una reducción del 100% en las emisiones para los nuevos coches y furgonetas vendidos a partir del año 2035.

Figura 25 Motivación para la descarbonización de camiones en Europa

Objetivos de la UE para camiones nuevos
[Emisiones de CO₂ en g/t km]



Fuentes: Comisión Europea

Hechos clave

- 1** El logro de **los objetivos de reducción de emisiones estará impulsado por soluciones de eficiencia y bajas emisiones a corto plazo** (hibridación, biocombustibles, GNL/GNC), y la transición hacia la **electrificación a medio y largo plazo**.
- 2** Incentivos para vehículos **de cero y bajas emisiones**.
- 3** **Sanciones para los fabricantes a partir de 2025** en caso de **exceso de emisiones de CO₂**:
 - Hasta **4.250 € por cada gramo de CO₂** por tonelada-km de exceso desde 2025 hasta 2029.
 - Hasta **6.800€ por cada gramo de CO₂** por tonelada-km a partir de 2030 en adelante

Evaluación tecnológica

Al examinar el panorama de las tecnologías para vehículos ligeros, los vehículos con motor de combustión interna (ICE) se convierten en la solución más utilizada, proporcionando un modo de transporte familiar y ampliamente accesible. Sin embargo, debido a las crecientes preocupaciones sobre la sostenibilidad ambiental y la necesidad urgente de reducir las emisiones de carbono, existe una necesidad crítica de explorar opciones de combustible alternativas. La electrificación de vehículos, particularmente los coches eléctricos con batería, destaca como la solución principal para descarbonizar este modo de transporte. Esta transición representa un paso crucial hacia la reducción de las emisiones de CO₂ en el sector de automoción. No obstante, los biocombustibles presentan una solución alternativa para la electrificación de vehículos ligeros y pesados, proporcionando una oportunidad para mitigar el impacto del cambio climático de los vehículos ICE mientras se aprovechan las tecnologías e infraestructuras existentes.

Para el transporte de carga pesada, la búsqueda de alternativas sostenibles ha impulsado la exploración de diversas vías tecnológicas. Entre estas alternativas se encuentran los camiones eléctricos de batería (BET), los camiones de celdas de combustible de hidrógeno (FCT), los camiones híbridos de catenaria aérea (CHT) y los camiones con motor de combustión interna alimentados por combustibles sintéticos o biocombustibles (SYT). Los FCT, junto con los BET y los biocombustibles, como el diésel renovable o el biometano, emergen como las soluciones más adecuadas para los camiones de larga distancia y de línea, que en conjunto representan el 28% y el 31% de las emisiones anuales respectivamente, siendo los mayores contribuyentes a las emisiones de CO₂ dentro del sector de camiones.

Figura 26 Opciones de tren motriz alternativo para camiones



Fuentes: análisis Moeve



Aumentar la participación de biocombustibles 2G en el transporte por carretera en solo un 1-2% puede ofrecer el mismo impacto de descarbonización que reemplazar 400.000 vehículos convencionales con vehículos eléctricos alternativos.

Los biocombustibles están posicionados para acelerar la descarbonización cuando se utilizan en el transporte por carretera, especialmente en el caso de los vehículos pesados, donde la electrificación presenta mayores desafíos en comparación con los vehículos ligeros como coches o furgonetas. Su capacidad para ser utilizados en la tecnología actual, ofreciendo las mismas ventajas en términos de autonomía disponible, potencia y velocidad de repostaje, posiciona al diésel renovable y al biometano como las soluciones principales para liderar la descarbonización del transporte por carretera a corto y medio plazo. Al reemplazar el uso de gasolina y diésel convencionales, los biocombustibles permiten a los usuarios finales descarbonizar las emisiones de CO₂ sin necesidad de inversiones significativas, al tiempo que reducen la necesidad de desplegar nuevas infraestructuras de repostaje, como estaciones de carga eléctrica o estaciones de hidrógeno, que requerirían inversiones sustanciales.

A medio y largo plazo, los camiones eléctricos de batería (BET) y los camiones de celdas de combustible (FCT) emergen como las soluciones más eficientes, con una eficiencia de "Well-to-Wheel" (WtW) del 73% y 30% respectivamente, superando significativamente a los motores de combustión interna convencionales con una eficiencia WtW de alrededor del 15-18%. Actualmente, los BET se presentan como la opción tecnológicamente más avanzada, con infraestructura establecida y madurez tecnológica. Mientras tanto, los FCT están ganando terreno como una posible solución a largo plazo, principalmente debido a su alta flexibilidad en términos de velocidad de repostaje y autonomía, junto con un peso reducido y tiempos de recarga significativamente más cortos en comparación con los BET para 2030 y 2035. Además, se anticipan avances en la carga, con el potencial de una carga de 15 minutos a 700 bares para proporcionar una autonomía de 700 km.

Figura 27 Opciones de tren motriz para camiones

		H2 long-haul	H2 line-haul	Velocidad de recarga	
					
		1 ~600 km/d	2 300-450 kW	1 ~400 km/d	2 300-450 kW
ICE ¹ (alimentación Diésel)	3	700-1500 l (Diésel)	700 - 1500 l (Diésel)		Actuales
	4	2.000 - 4.000 km	2.000 - 4.000 km		
	5	2.200 kg	2.200 kg		
BET ² (carga eléctrica)	3	600 - 850 kWh	300 - 600 kWh	MCS: 850km/h Nocturno y DCS: 50km/h	Alternativos
	4	500 - 700 km	250 - 500 km		
	5	4.300 - 5.300kg	3.100 - 4.300 kg		
FCT ³ (alimentación H2)	3	~80kg (hidrógeno) +50 kWh (electricidad)	~80kg (hidrógeno) +50 kWh (electricidad)	Hasta 3.400km/h	
	4	~900 km	~900 km		
	5	2.300 kg	2.300 kg		

1 Kilometraje (basado en 250 días laborables al año) 2 Performance (potencia) 3 Rango 4 Energía a bordo 5 Peso Tren Motriz

Notas: (1) Consumo medio de energía: ICE = Diésel 0.35 l/km; (2) Consumo medio de energía: BET = electricity 120 kWh/km; (3) Consumo medio de energía: FCT = hydrogen 0.09 kg/km
Fuentes: análisis Moeve



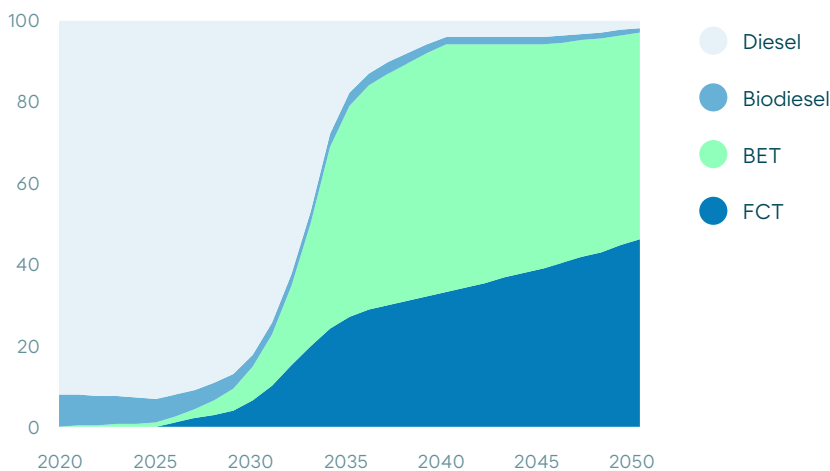
Los camiones de celdas de combustible representan una solución prometedora a largo plazo para descarbonizar el transporte pesado, ya que combinan un repostaje rápido con una gran autonomía, lo que los convierte en una opción eficiente para reducir emisiones.

Demanda futura

Se prevé que la demanda de combustible en vehículos ligeros se desplace mayoritariamente hacia la electricidad, en línea con la tendencia general hacia la descarbonización y el uso de fuentes de energía sostenibles. Aunque se espera que el uso de biocombustibles siga siendo limitado, este cambio abre la puerta a reasignar recursos como la biomasa y los residuos hacia otros usos más eficientes.

En el segmento de camiones pesados de larga distancia, se espera una adopción fragmentada de tecnologías, específicamente entre BET y FCT. Las proyecciones de la Mission Possible Partnership (MPP) sugieren que en el escenario más probable para 2050, alrededor del 62% de las ventas totales en Europa corresponderán a BET, el 35% a FCT, y una participación menor a diésel y diésel renovable.

Figura 28 Participación en las ventas de MPP del segmento de largo recorrido en Europa. (% , 2020-2050)



Notas: (1) Camiones eléctricos de pila de combustible (FCT); (2) Camiones cero emisiones (ZET); (3) Camiones eléctricos de batería (BET); (4) Coste de emisiones aumenta linealmente a 230€/t para 2050
Fuentes: MPP – Mission Possible Partnership (Making-Zero-Emissions-Trucking-Possible)

Este cambio destaca una transición significativa hacia fuentes de energía alternativas en el transporte de carga pesada, reflejando esfuerzos para mitigar el impacto ambiental y alcanzar objetivos de sostenibilidad en el sector. Estos avances y la transición prevista están impulsados principalmente por la regulación de la Unión Europea y los compromisos ESG asumidos por las empresas, como el grupo Volvo a través de First Movers Coalition, que establece que al menos el 30% de sus ventas de camiones pesados y el 100% de sus ventas de camiones medianos serán camiones de cero emisiones para 2030.





2.5.

Industria verde: hidrógeno para materias primas verdes y procesos térmicos difíciles de descarbonizar

El sector industrial se presenta como columna vertebral de la economía europea, sustentando su fortaleza en los 35 millones de empleos directos según la Comisión Europea⁴⁶. Reconocida por su enfoque en productos de alto valor añadido, incluyendo los sectores automotriz, químico y aeronáutico, la industria europea no solo impulsa el crecimiento económico, sino que también genera significativas oportunidades de empleo. Más allá de sus contribuciones económicas, este sector afecta a diversos aspectos de la vida diaria, ejerciendo una influencia sustancial en la creación de riqueza en Europa.

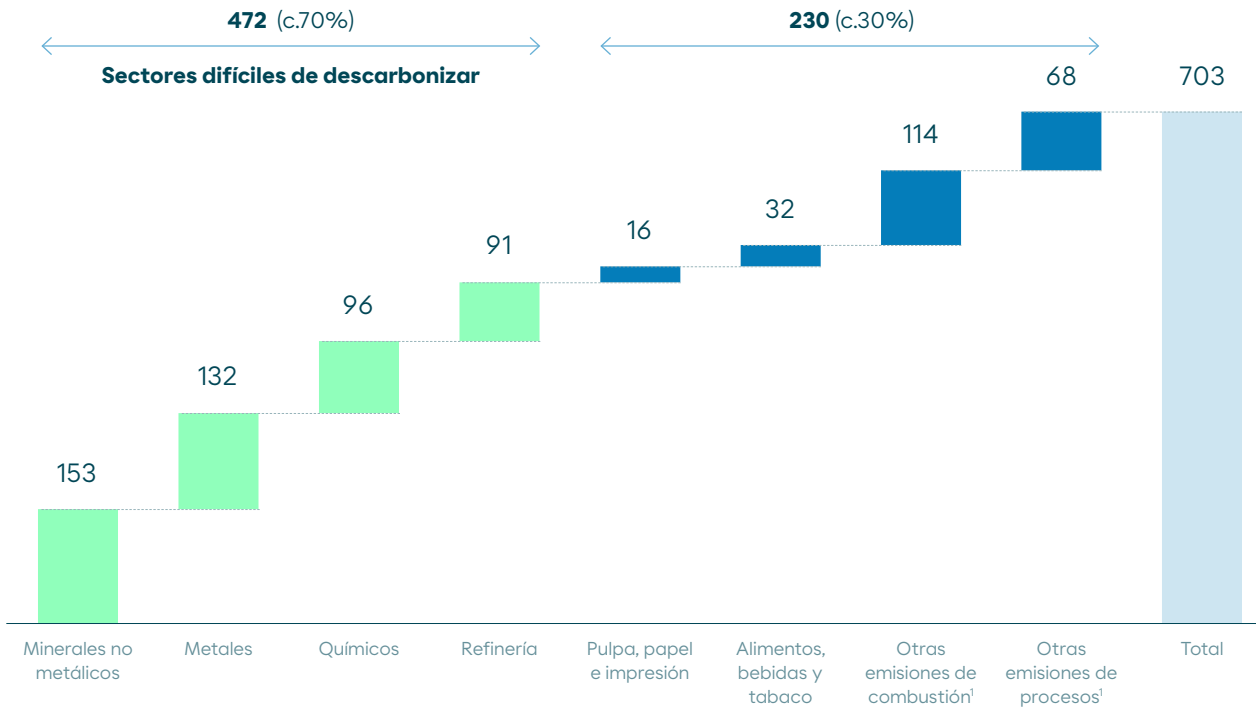
La industria europea, además de ser el motor fundamental de la economía y de la prosperidad en la región, también es una importante contribuyente a las emisiones, representando aproximadamente una cuarta parte del total de emisiones según la Agencia Europea de Medioambiente. Lograr un crecimiento económico sostenible que se alinee con los objetivos de reducción de emisiones implica implementar medidas y políticas para promover la eficiencia energética, la transición a fuentes de energía más limpias y la adopción de tecnologías y prácticas más sostenibles en diversos sectores económicos. Esto puede incluir fomentar el uso de energía renovable, mejorar la eficiencia en el uso de recursos e implementar CCUS, entre otras estrategias. Son necesarios esfuerzos integrales que involucren a gobiernos, empresas y a la sociedad en su conjunto para abordar este desafío y avanzar hacia una economía más sostenible y baja en carbono.

Dentro de los sectores industriales, algunos presentan desafíos más significativos para lograr la descarbonización, ya que la electrificación puede no ser una alternativa técnicamente viable. Estos sectores difíciles de descarbonizar, incluyen la producción de acero y hierro, metales no ferrosos como el aluminio, la industria química, minerales no metálicos (cemento, cerámica y vidrio) y la refinería. Juntos, estos sectores contribuyen con alrededor del 70% de las emisiones industriales, convirtiéndolos en puntos focales cruciales para los esfuerzos destinados a alcanzar los objetivos de descarbonización.

⁴⁶ "Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs", European Commission



Figura 29 Emisiones industriales (MtCO₂e, 2024)



Participación de emisiones por la industria (%; 2024)



Notas: (1) Agricultura, residuos y otros sectores minoritarios (2) Las emisiones de la industria sin tener en cuenta las refinerías serían 611 MtCO₂e para 2024
 Fuentes: Agencia Europea del Medio Ambiente; Análisis Moeve

Aunque la demanda final de energía y las emisiones de CO₂ en el sector industrial de la Unión Europea han disminuido de manera constante, con una disminución anual promedio de alrededor del 1% desde 1990, y un ligero aumento observado entre 2015 y 2019, los esfuerzos no son suficientes y se necesitan mayores reducciones de emisiones de gases efecto invernadero para alcanzar una descarbonización del 55% para 2030, en comparación con los niveles de 1990, y la neutralidad climática para 2050.

Para reducir las emisiones industriales de gases de efecto invernadero, los organismos reguladores de la Unión Europea están implementando dos tipos de medidas para lograr emisiones netas de carbono para 2050 y desvincular las emisiones del crecimiento económico. Por un lado, existen objetivos que exigen la adopción de moléculas verdes para reemplazar los combustibles fósiles actuales, y, por otro lado, hay mecanismos que aceleran la reducción de emisiones de CO₂.

Al combinar ambos conjuntos de medidas, la Unión Europea busca crear una estrategia integral y efectiva para alcanzar sus objetivos climáticos, fomentando un crecimiento económico sostenible y minimizando las emisiones de CO₂ de las actividades industriales. Este enfoque refleja la urgencia y complejidad de la tarea, requiriendo una estrategia integral para abordar las emisiones de diversos sectores y promover una industria más sostenible.

En octubre de 2023, la Unión Europea, a través de RED III, fijó objetivos ambiciosos para impulsar las energías renovables en el sector industrial. Se estableció un incremento anual del 1,6% en el uso de estas energías hasta 2030. Además, RED III busca garantizar que el hidrógeno verde represente el 42% del hidrógeno consumido para 2030, aumentando al 60% para 2035. Este enfoque tiene como objetivo sustituir el hidrógeno gris en sectores de difícil descarbonización. Además, estos porcentajes podrían ser más altos según las últimas proyecciones de diversas fuentes, como la IEA, la Comisión Europea o el “Clean Hydrogen Monitor”, respecto a la demanda de hidrógeno renovable.

Algunos países de la Unión Europea también están implementando objetivos de descarbonización ambiciosos. España, en su Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) de 2024, establece el objetivo de que el hidrógeno verde represente el 74% del consumo total de hidrógeno en la industria para 2030.

Además, desde 2005, la Unión Europea ha implementado un Sistema de Comercio de Emisiones (ETS) como parte fundamental de sus esfuerzos para reducir las emisiones. Este sistema obliga a los contaminadores a pagar por su huella de carbono, lo que no solo facilita la disminución de esta, sino que también genera ingresos destinados a financiar políticas verdes y sostenibles en la UE.

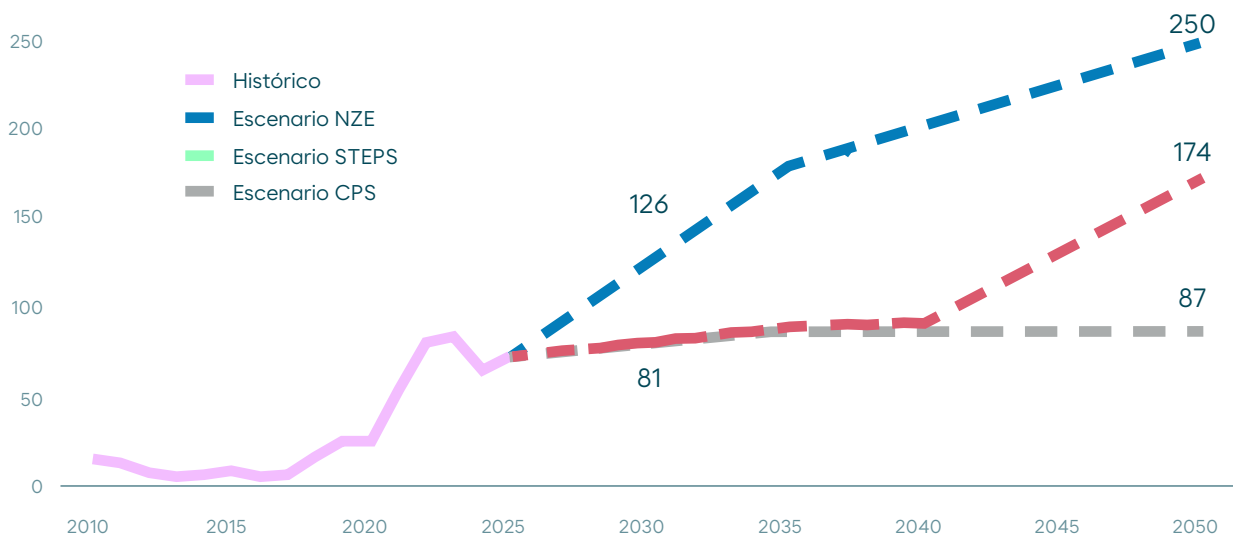
El ETS opera bajo el principio de ‘límite y comercio’, estableciendo un tope a las emisiones permitidas para diversas industrias, el cual se reduce gradualmente cada año. Este sistema asigna un precio al carbono, requiriendo que las entidades cubiertas compren sus correspondientes ‘derechos’ de emisión de gases de efecto invernadero. El límite total de estos derechos se fija anualmente por sector y por instalación industrial, disminuyendo con el tiempo. Esto crea incentivos financieros para que las empresas busquen reducir su huella de carbono. El ETS comenzó abarcando grandes industrias intensivas en energía y en 2012 se expandió para incluir el sector de la aviación. Además, desde el 1 de enero de 2024, el sistema también ha incluido al sector marítimo. A partir del 2027, también se incorporarán los edificios residenciales, el transporte por carretera y las pequeñas industrias con un nuevo Sistema de Comercio de Emisiones, conocido como ETS2.

El régimen de comercio de emisiones de la Unión Europea (ETS) es uno de los mayores mercados de carbono y ha contribuido a reducir en un 51% las emisiones industriales desde 2005⁴⁷. Además, sus objetivos de reducción, que se endurecieron en 2023, elevan la meta del 43% al 62% para 2030 respecto a los niveles de 2005. En los próximos años, habrá una reducción gradual en la asignación de derechos gratuitos a las empresas participantes en el ETS, acompañada de un aumento en el coste del CO₂. Esto disminuirá la competitividad de las alternativas de combustibles fósiles. En consecuencia, el uso de combustibles fósiles se volverá más costoso. En los últimos años, el precio del CO₂ ha fluctuado entre 25-80 euros por tonelada⁴⁸. Sin embargo, según proyecciones de la IEA, se espera que estos precios aumenten a aproximadamente 80-125 euros por tonelada para 2030 y alcancen aproximadamente 175-250 euros por tonelada para 2050.

⁴⁷ “Trends and projections in the EU-ETS in 2025. The EU Emissions Trading System in numbers”, EEA

⁴⁸ “Precios CO₂”, SENDECO₂

Figura 30 Escenarios de precios de las emisiones de CO₂ en la UE (€/tCO₂)



Notas: (1) STEPS – Stated Policies Scenario, APS – Announced Pledges Scenarios, NZE – Net Zero Emissions by 2050 Scenario
Fuentes: IEA (International Energy Agency – World Energy Outlook 2024); Análisis Moeve

Otra política desarrollada por los organismos reguladores de la Unión Europea para incentivar la descarbonización industrial es el CBAM (Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono). Este mecanismo tiene como objetivo fomentar los productos intraeuropeos derivados de combustibles y tecnologías bajas en carbono, ya que los productos importados están sujetos a un impuesto sobre el CO₂ equivalente al precio del carbono de la Unión Europea. El objetivo principal es contrarrestar la fuga de carbono, que ocurre cuando las empresas con altas emisiones de gases de efecto invernadero trasladan su producción a territorios fuera de la Unión Europea con políticas climáticas menos estrictas. Esto está destinado a prevenir el traslado de la producción intensiva en carbono a países con políticas climáticas menos rigurosas, donde los productos importados podrían tener una ventaja de precio a costa del medioambiente. El CBAM cubre principalmente productos derivados de industrias difíciles de descarbonizar, como el hierro y el acero, cemento, fertilizantes, aluminio, así como la producción de hidrógeno, y se espera que se expanda a un mayor número de productos y sectores.



Los mecanismos de fijación de precios del carbono permiten inversiones en soluciones que reducen las emisiones en industrias intensivas en energía, fomentando el crecimiento económico mientras lo desvinculan de las emisiones.

Además, la Ley de Industria Net Zero y el Clean Industrial Deal, tienen como objetivo acelerar los objetivos climáticos y energéticos de la Unión Europea al impulsar la competitividad de la industria mediante el desarrollo y la producción acelerada de tecnologías de cero emisiones, como el hidrógeno renovable, biocombustibles de segunda generación y e-combustibles.



Evaluación tecnológica

La tecnología desempeña un papel clave en la descarbonización de las emisiones industriales, ajustándose a las particularidades europeas. Existen diferencias significativas entre sectores, tanto en sus procesos productivos como en los combustibles y las tecnologías que emplean. Las necesidades de calor entre actividades también varían de forma sustancial, desde el control de temperatura y refrigeración, comunes a todos los sectores, hasta procesos que requieren calor de baja, media y alta temperatura. Es importante destacar que ciertas industrias, como la química, la metálica, la de minerales no metálicos o refinerías, necesitan combustible no solo para la combustión, sino también como materia prima en sus procesos de fabricación. Un ejemplo de materia prima comúnmente utilizada es el hidrógeno gris, empleado en refinerías, en la producción de productos químicos como metanol o amoníaco (clave en la fabricación de fertilizantes) y en la producción de acero, concretamente en el proceso de reducción del mineral de hierro, un componente esencial para la futura transición energética del sector. Por lo tanto, según el tipo de industria, se pueden clasificar en tres grupos distintos en cuanto a su idoneidad para la descarbonización mediante el uso de moléculas verdes:

- **Nivel 1:** las industrias en este nivel, como las químicas, refinerías y siderúrgicas, están preparadas para una transición rápida debido a su dependencia actual del hidrógeno gris como materia prima. Esto se observa notablemente en la producción de amoníaco, esencial para la fabricación de fertilizantes, producción de metanol y varios procesos del sector como la hidrogenación o el hidrocrackeo para refinerías. Los siderúrgicos también utilizan este vector energético para la reducción del mineral de hierro. El hidrógeno verde se presenta como la única alternativa viable para la descarbonización de este uso.
- **Nivel 2:** este grupo abarca actividades de alta intensidad energética con procesos que operan a temperaturas medias a muy altas, superando los 500 y 1000 °C. Incluye la fabricación de minerales no metálicos como cerámica, vidrio y cemento, junto con la industria química y de minerales metálicos. Estos sectores dependen en gran medida de los combustibles fósiles para sus procesos de energía térmica. Pueden embarcarse en su transición a moléculas verdes a corto plazo, ya que la electrificación a menudo no es técnicamente viable debido a las características de las actividades a alta temperatura y el equipo requerido. Los biocombustibles, como el biometano, podrían reemplazar el gas natural sin modificaciones en el proceso, y el uso de hidrógeno requeriría ajustes en las turbinas y quemadores cuando la mezcla supere el 20% de mezcla con gas natural.
- **Nivel 3:** las industrias en este nivel muestran una menor disposición para cambiar a moléculas verdes. Por ejemplo, los sectores del papel y de alimentos, que dependen de procesos de baja temperatura y operaciones mecánicas en su producción. En estos casos, la electrificación directa suele ser una solución factible y preferible para la descarbonización.

Figura 31 Evaluación de las moléculas verdes: industrias relevantes y áreas de aplicación

Relevancia de los combustibles fósiles en los procesos de producción						Papel del H ₂ en la economía
Tier I	<100 °C	100–400 °C	400–1,000 °C	1,000 °C	Molecular	
Refinerías		Destilación	Craqueo y Coquización		Hidrogenación	Líderes <ul style="list-style-type: none"> Alta aplicabilidad de moléculas verdes en sus procesos de producción actuales debido a las necesidades de alta temperatura en sus procesos industriales Alternativas limitadas para descarbonizar el proceso industrial a través de fuentes de energía renovable
Químicos	Secado		Gasificación		Materia prima	
Productores de acero		Templado	Tratamiento térmico	Fundición	Reducción directa	
Tier II						
Cerámica			Cocción de bizcocho	Vidriado		Adoptantes tardíos <ul style="list-style-type: none"> Se prefieren otras opciones de descarbonización Solo utilizarán moléculas verdes cuando compitan con otras fuentes de energías
Vidrio			Procesamiento del vidrio	Fundición		
Cemento				Producción de clínker		
Tier III						
Comida y bebida	Pasteurización				Hidrogenación	Adoptantes tardíos <ul style="list-style-type: none"> Se prefieren otras opciones de descarbonización Solo utilizarán moléculas verdes cuando compitan con otras fuentes de energías
Papel y pulpa	Secado					

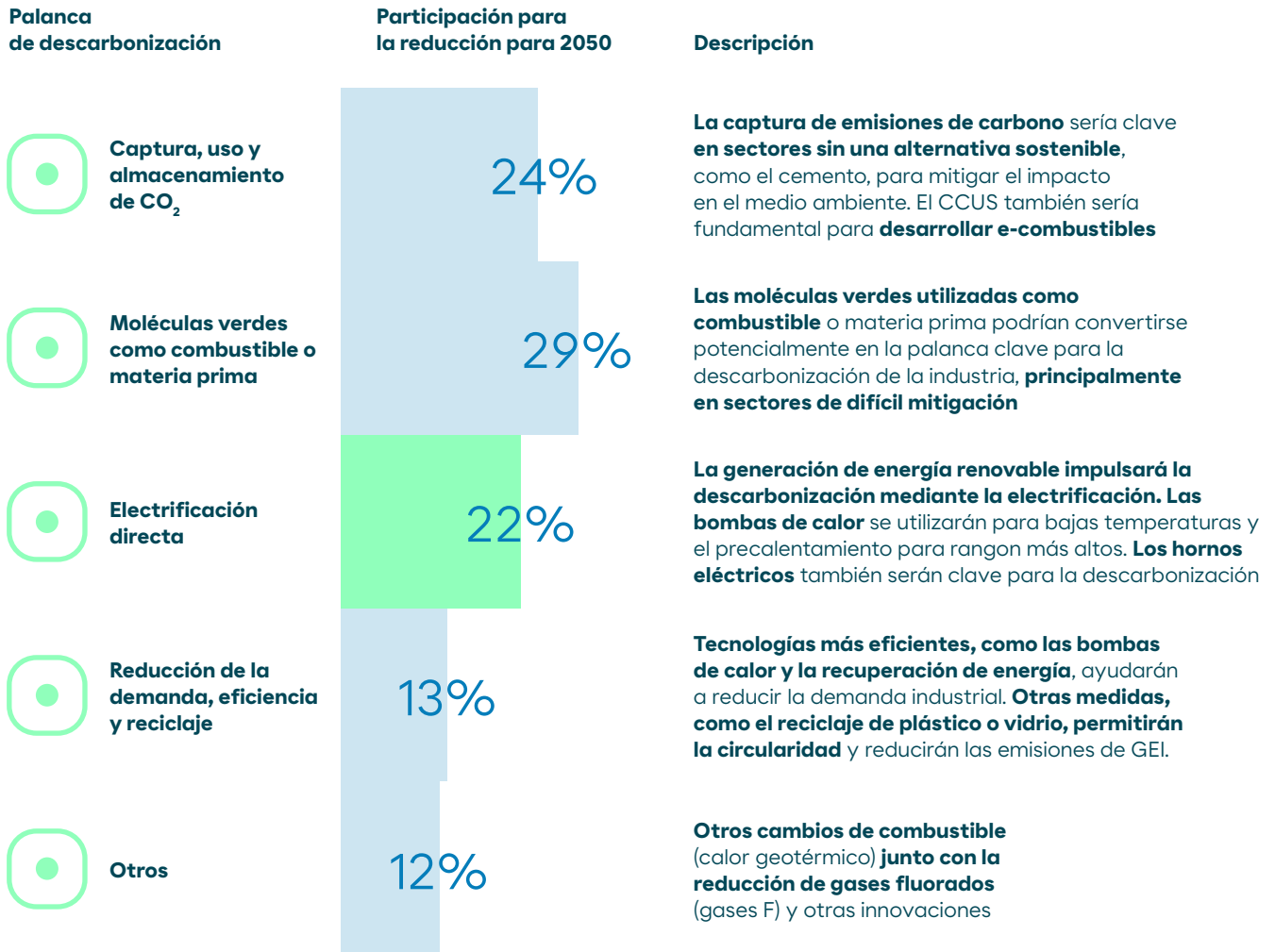
Fuentes: análisis Moeve

Sin embargo, la transición hacia moléculas verdes por sí sola no será suficiente para alcanzar los objetivos de descarbonización. Otras tecnologías y estrategias, como la electrificación, CCUS, la reducción de la demanda, medidas de eficiencia energética como la recuperación de calor, y la promoción de una economía circular a través de la reutilización y el reciclaje de productos, serán cruciales para lograr la meta de descarbonizar la industria y lograr el objetivo de Cero Emisiones Netas (NZE).

Como se ha señalado, las moléculas verdes desempeñan un papel esencial tanto en la sustitución de materias primas de origen fósil como en su aplicación en procesos que requieran calor de media y alta temperatura. En contraste, la electrificación se considera más adecuada para procesos de baja temperatura y, en algunos casos, para aquellos de temperatura media. En consecuencia, las moléculas verdes tienen el potencial de descarbonizar aproximadamente el 30% de las emisiones industriales⁴⁹, mientras que otras tecnologías como la electrificación o CCUS podrían potencialmente descarbonizar otro ~44% de las emisiones del sector. Esto resalta la necesidad de una combinación de estrategias y tecnologías para lograr de manera efectiva los objetivos de descarbonización en el sector industrial.

⁴⁹ Moeve analysis based on McKinsey "Net-Zero Europe"

Figura 32 Palancas de reducción de emisiones de la industria y participación potencial en la reducción para 2050



Fuentes: análisis Moeve basado en McKinsey.



Las moléculas verdes podrían reducir casi un 30% de las emisiones industriales, emergiendo como el principal instrumento para la descarbonización de la industria europea.

Sector de minerales no metálicos

El sector de minerales no metálicos, que incluye cemento y cal, cerámica y vidrio, destaca como un segmento industrial notable por tener la mayor intensidad de emisiones de carbono dentro de la industria europea. Además, el sector enfrenta un desafío significativo en la reducción de emisiones, especialmente considerando el crecimiento sustancial anticipado en la demanda de minerales no metálicos impulsado por proyectos de infraestructura y construcción.

Una parte considerable de las emisiones proviene de los subsectores del cemento y la cal, estrechamente relacionadas con sus procesos de producción. Para descarbonizar estas emisiones, será esencial implementar tecnologías de captura de carbono junto con medidas de eficiencia de materiales, como el uso de cemento reciclado de demoliciones en nuevas construcciones.

Los procesos de fabricación en los sectores del cemento, vidrio y cerámica requieren la combustión a altas temperaturas, entre 1000 y 1500 °C, utilizando hornos para la generación de calor. La electrificación no resulta práctica en estos casos; sin embargo, las bombas de calor pueden jugar un papel crucial en las fases de precalentamiento o como parte de sistemas de recuperación de calor, como ocurre en los secadores utilizados en la industria cerámica.

El uso de moléculas verdes se presenta como una estrategia fundamental para estos procesos de alta temperatura. El biometano puede reemplazar completamente al gas natural, mientras que el hidrógeno verde puede mezclarse con gas natural o biometano hasta en un 20% sin complicaciones técnicas o utilizarse en su forma pura, lo que solo requiere ajustes menores en los equipos, como los trenes de gas y quemadores⁵⁰.

Es esencial reconocer que las emisiones del proceso de fabricación de vidrio pueden reducirse significativamente con medidas de reciclaje y mejoras en la eficiencia. Los ambiciosos objetivos de reciclaje establecidos por las regulaciones de la Unión Europea apuntan a disminuir la producción primaria de vidrio, con un enfoque específico en lograr un 90% de reciclaje para el envasado de vidrio para el año 2030. Esto subraya la importancia de prácticas sostenibles para mitigar el impacto ambiental dentro del sector de minerales no metálicos.



⁵⁰ "Climate, Navigate uncertainty and build resilient, future-ready strategies", ICF



Metales - Hierro y Acero

La industria del hierro y el acero es el principal contribuyente a las emisiones en este sector, representando más del 90% de sus emisiones. Esta industria se considera difícil de descarbonizar debido a las altas temperaturas involucradas y la liberación de CO₂ como subproducto en el proceso de fabricación del acero. La producción de acero emplea principalmente dos métodos: el Alto Horno Convencional (BOF), que constituye el 60% de la producción de acero europea y se basa en el mineral de hierro y coque, y el Horno de Arco Eléctrico (EAF). El EAF utiliza sobre todo chatarra como materia prima o mineral de hierro con un proceso adicional de Reducción Directa del Hierro (DRI), donde la eliminación de oxígeno del mineral de hierro se realiza sin fundición, como lo hace la ruta BOF, pero utilizando hidrógeno o monóxido de carbono (CO) a través de gas natural reformado principalmente.

Las emisiones de la producción de acero exhiben diferencias significativas, con los altos hornos convencionales emitiendo, en promedio, 1,9 toneladas de CO₂ por tonelada de acero producido en la UE, mientras que el proceso DRI-EAF emite 0,4 toneladas de CO₂ por tonelada de acero, representando una reducción del 80% en comparación con el método convencional.

Para descarbonizar este sector, un desafío significativo radica en la transición de una gran parte de la producción de acero del BOF a la alternativa DRI-EAF. La descarbonización de las emisiones del proceso se logrará principalmente a través del DRI utilizando hidrógeno verde como reductor para el mineral de hierro, una tecnología que se ha demostrado a escala piloto. CCUS y la eficiencia energética son soluciones potenciales para la descarbonización del BOF.

La descarbonización de las emisiones asociadas al uso de combustibles puede lograrse mediante hidrógeno, sin necesidad de modificaciones significativas en los equipos y con tecnología ya probada a escala industrial, así como a través del empleo de biomasa. La electrificación de hornos de recalentamiento y procesamiento también es una opción factible y ha sido demostrada a escala, alcanzando temperaturas de hasta 1300 °C.

Químicos – Amoníaco y Metanol

En la industria química europea, la producción de amoníaco y metanol es crucial para lograr una descarbonización efectiva. Dado que esta industria trabaja con compuestos que contienen carbono, es imperativo incorporar prácticas sostenibles. El amoníaco, que se utiliza principalmente en la fabricación de fertilizantes, desempeña un papel central en estos esfuerzos (constituyendo el 70% a nivel mundial, según la IEA⁵¹), y juega un papel clave en el desarrollo de cultivos a nivel mundial, abordando las necesidades esenciales de la población.

La producción actual de amoníaco destaca como un contribuyente significativo a las emisiones de gases de efecto invernadero industriales, emitiendo dentro de la Unión Europea un promedio de 1,8-2,0 toneladas de CO₂ por tonelada de amoníaco producido. En la Unión Europea, la producción de amoníaco gris se basa principalmente en hidrógeno gris generado a través de SMR, que alimenta el reactor Haber-Bosch para la síntesis de amoníaco. El hidrógeno, en este contexto, se convierte en una materia prima crítica para la producción de amoníaco.

Mientras que el amoníaco destaca como un actor clave en la transición energética del sector, la conversión de metanol a etileno presenta un enfoque alternativo para la producción de etileno, alejándose de la dependencia del gas natural. Los procesos de alta temperatura en la industria también demandan atención dentro de la estrategia de descarbonización. Sin embargo, es el reemplazo de materias primas el desafío fundamental a abordar para lograr una transición efectiva.

La descarbonización de las emisiones derivadas de materias primas, especialmente en la producción de amoníaco, dependerá en gran medida del hidrógeno renovable, que sustituirá al gris producido mediante reformado con vapor de metano (SMR). Además, las tecnologías de captura de carbono podrían desempeñar un papel importante en la reducción de las emisiones asociadas al hidrógeno gris, especialmente a corto y medio plazo, dado que el CO₂ es necesario para la producción de urea.

En el ámbito de la descarbonización de las emisiones de combustible, la electrificación directa y las bombas de calor presentan soluciones viables, particularmente en aplicaciones de baja temperatura y fases de precalentamiento. Mientras que los procesos de alta temperatura pueden encontrar alternativas con el hidrógeno o calderas de biomasa.

Además, la optimización de la eficiencia energética a través de mejoras en los procesos, recuperación de calor y aislamiento, emerge como una vía accesible y rápida para la descarbonización. Estas estrategias integrales subrayan el compromiso de la industria con prácticas sostenibles, alineándose con los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático y reducir el impacto ambiental.



⁵¹ "Ammonia Technology Roadmap", IEA

Refinerías

En los próximos años, mientras la economía global continúe dependiendo en gran medida de los productos derivados del petróleo, las refinerías seguirán siendo componentes clave del sistema energético. El hidrógeno desempeña un papel crucial en los procesos de refinería, particularmente en las etapas de hidrotratamiento e hidrocrackeo, que buscan generar productos con pesos moleculares más bajos. La transición del hidrógeno gris al hidrógeno verde como materia prima representa una valiosa y esencial oportunidad para avanzar en la descarbonización de la industria.

Cambiar a hidrógeno verde no solo constituye la principal alternativa para descarbonizar las operaciones de refinería, sino que también se suma a las estrategias de electrificación como una vía adicional para reducir la huella de carbono. La electrificación se puede implementar en las fases de precalentamiento, ayudando a mitigar el impacto ambiental del sector. Además, las bombas de calor son esenciales para satisfacer las necesidades de calentamiento de agua a presión, convirtiéndose en una solución clave para alcanzar los objetivos de descarbonización.

En resumen, el enfoque dual de reemplazar la materia prima de hidrógeno con alternativas verdes e integrar la electrificación en las fases de precalentamiento presenta a las refinerías una estrategia integral y efectiva para la descarbonización. Estas medidas no solo se alinean con los objetivos de sostenibilidad global, sino que también posicionan a la industria como un contribuyente proactivo para reducir el impacto ambiental utilizando moléculas verdes.

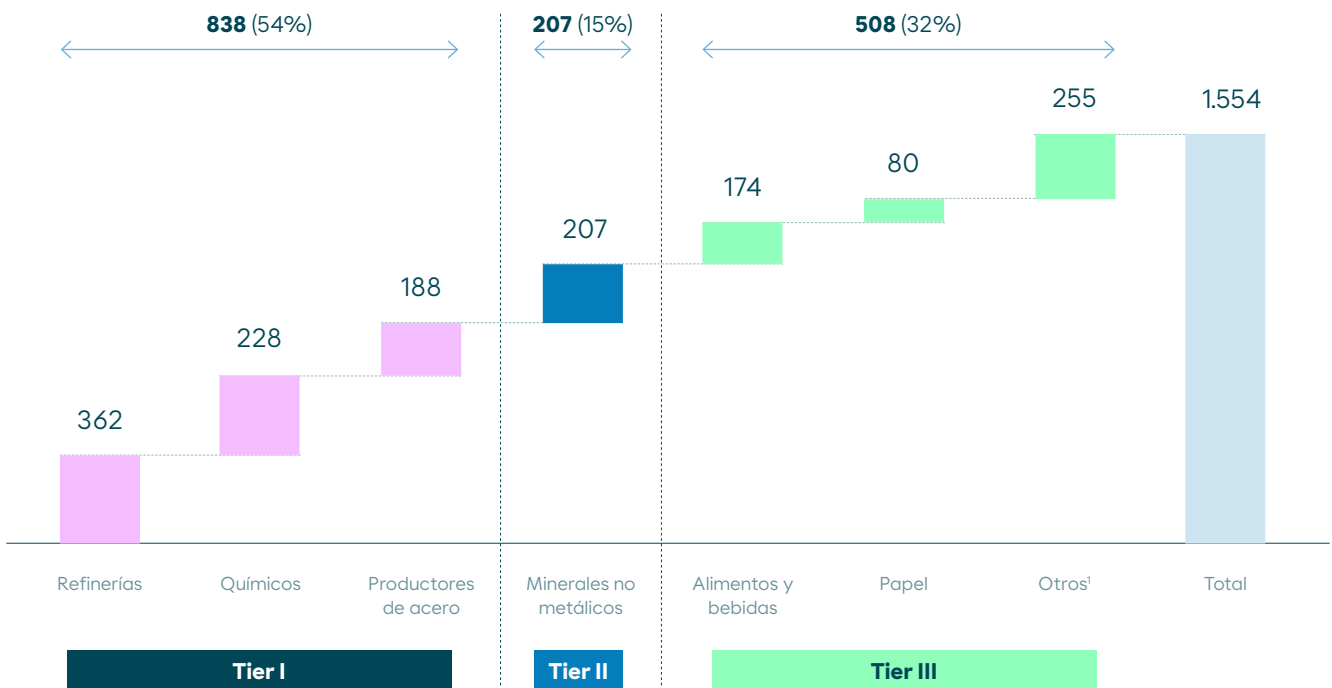


El biometano y el hidrógeno verde son fundamentales como sustitutos del gas natural para procesos de alta temperatura. En cuanto a la descarbonización de materias primas, las opciones viables siguen limitadas a las alternativas de base biológica y los derivados del hidrógeno.

Demanda futura

En el año 2024, la demanda final de energía del sector industrial supuso 2.500 TWh (Teravatios-hora) (alcanzando unos 2.900 TWh cuando se incluyen las refinerías). Esta energía fue cubierta principalmente por combustibles fósiles, constituyendo el 50% de del total, con un 30% atribuido a la electricidad, y el 20% restante abarcando bioenergía, calor y otras fuentes. El punto focal del uso de combustibles fósiles dentro de la industria se encuentra en las industrias intensivas (Tier I y II), donde las moléculas verdes son la principal solución, ofreciendo un camino prometedor para la transición hacia combustibles más sostenibles y respetuosos con el medioambiente.

Figura 33 Consumo actual de combustibles fósiles por sector (TWh, 2024)



Notas: (1) Agricultura y otros sectores minoritarios
Fuentes: European Environment Agency; Moeve analysis

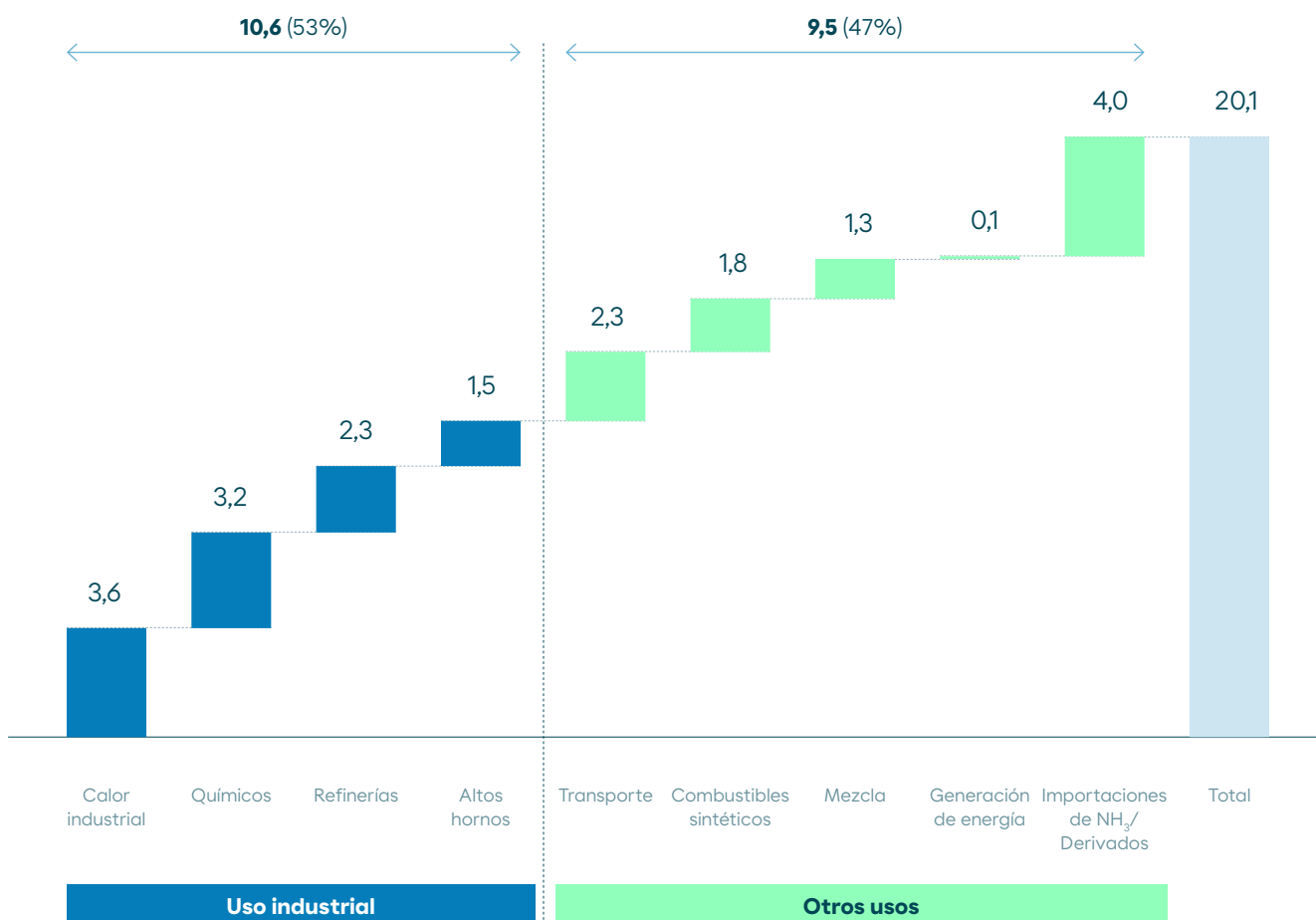
Centrado en la demanda de hidrógeno, la industria europea alcanzó aproximadamente 7,8 millones de toneladas en 2024⁵², producidas mayoritariamente a través del proceso de reformado con vapor. Las refinerías lideraron la demanda, constituyendo el 58% de esta, seguidas por el amoníaco con un 25%, y el metanol y otros productos químicos (incluyendo peróxido de hidrógeno, ciclohexano, anilina, etc.) que contribuyeron con casi el 12%. Otras aplicaciones conformaron el 5% restante de la demanda.

El futuro de la demanda de moléculas verdes en el sector industrial, particularmente la transición del hidrógeno gris al hidrógeno verde, se perfila como un objetivo clave a corto y medio plazo. Esta transformación está impulsada por dos factores principales: las políticas energéticas en evolución y el creciente auge de la preferencia voluntaria por soluciones sostenibles.

⁵² "Clean Hydrogen Monitor 2025", Hydrogen Europe

En este contexto, las políticas energéticas juegan un papel clave en impulsar la adopción de hidrógeno verde en la Unión Europea. La iniciativa REPowerEU ha establecido metas ambiciosas para la demanda de hidrógeno para 2030, apuntando a 20,1 millones de toneladas, con aproximadamente 10,6 millones de toneladas destinadas a aplicaciones industriales. Esta asignación representa más del 50% del volumen total previsto, subrayando un fuerte compromiso para integrar moléculas verdes en el mix energético industrial.

Figura 34 Objetivo de REPowerEU (Mt, 2030)



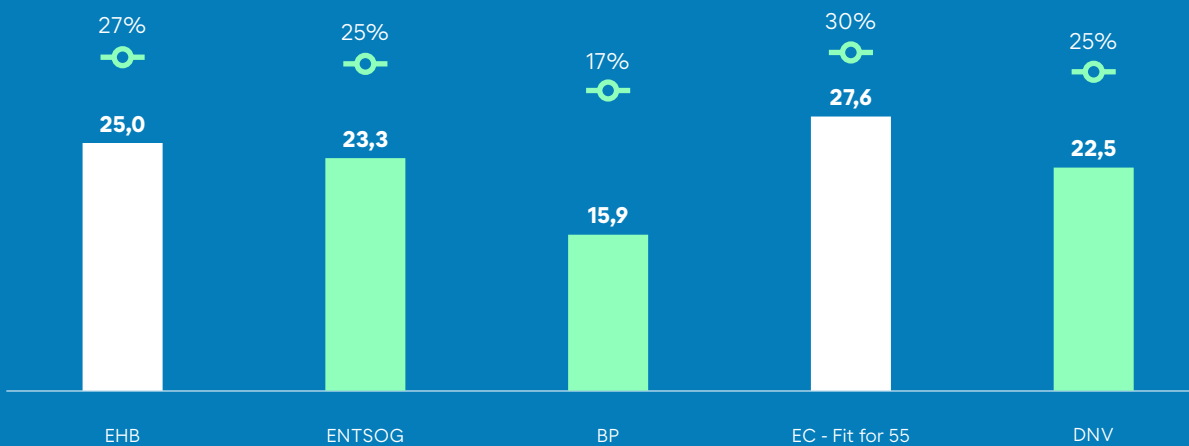
Fuentes: Comisión Europea; Análisis Moeve

Al examinar las previsiones a largo plazo de la demanda de hidrógeno de fuentes del mercado como DNV y British Petroleum (BP), entre otros, es importante destacar las diferentes proyecciones y roles del hidrógeno verde en la industria europea. Las previsiones muestran una alta dispersión, con un volumen previsto que oscila entre 15 y 36 millones de toneladas para 2050. Sin embargo, según un análisis de EHB, se esperan entre 30-35 millones de toneladas para 2050, y atendiendo a los proyectos anunciados podría representar un 30-40% de la demanda final de la industria y las refinerías. Esta demanda está impulsada principalmente por la transición del hidrógeno gris al hidrógeno verde en aplicaciones actuales como refinerías, amoníaco y metanol, así como por la aparición de nuevos usos industriales, como en la industria del acero, con el objetivo de descarbonizar la ruta de producción de acero BF-BOF (alto horno - horno de oxígeno básico) a la ruta EAF-DRI (horno de arco eléctrico - reducción directa de hierro) utilizando hidrógeno verde como materia prima en la reducción del mineral de hierro.

Figura 35 Escenarios de demanda de hidrógeno en la industria de la UE (Mt¹, 2050)

En el largo plazo, los escenarios de demanda de H2 industrial muestran una alta dispersión, que varía entre 15 y 40,5 Mt. Sin embargo, según las proyecciones de la Comisión Europea, se podría anticipar un volumen de alrededor de 30 Mt para 2050, representando el 30-40% de la demanda final de la industria.

○ % demanda final industrial²
 ■ Escenarios sugeridos
 ■ Escenarios del mercado



Notas: (1) 1Mt = 33TWh; (2) Demanda final industrial considera 3.100 TWh según escenario de IEA WEO
 Fuentes: Comisión Europea; Análisis Moeve

Aunque el hidrógeno verde se posiciona como la principal molécula en la descarbonización industrial, las moléculas verdes derivadas de compuestos orgánicos, como el biometano, están llamadas a ser cruciales para sustituir el gas natural en aplicaciones con alta necesidad de calor. Actualmente, la bioenergía representa alrededor del 15% del consumo energético total de la industria, impulsada mayoritariamente por la utilización de biomasa sólida. Sin embargo, las proyecciones futuras para la adopción de bioenergía son variadas y están influenciadas por factores como la disponibilidad limitada de biomasa y la competencia por satisfacer necesidades en otros sectores.



El biometano desempeñará un papel crítico en la sustitución del gas natural para aplicaciones de alta temperatura con dificultades en la electrificación, alcanzando potencialmente 300 TWh de producción de biogás para 2030, según las proyecciones de la Asociación Europea del Biogás.

A corto plazo, la mayoría de los escenarios anticipan que el consumo industrial se mantendrá en niveles similares a los actuales, situándose entre 300 y 400 TWh, lo que equivale a entre el 10% y el 15% de la demanda final de energía. Sin embargo, mirando hacia el futuro, las proyecciones a largo plazo son más diversas, con estimaciones de consumo que oscilan entre 200 y 600 TWh. Según el informe de la Asociación Europea del Biogás de enero de 2025, se estima que el potencial de producción podría alcanzar hasta 1580 TWh, reflejando un considerable aumento con respecto a los diferentes escenarios de consumo. Esta variabilidad se debe, en gran medida, a la posible escasez de biomasa en aplicaciones industriales, ya que podría ser redirigida para satisfacer necesidades en otros sectores, como el transporte marítimo y la aviación. La dinámica entre la demanda industrial y la reasignación intersectorial introduce un nivel de incertidumbre respecto al papel de la bioenergía en el futuro industrial.



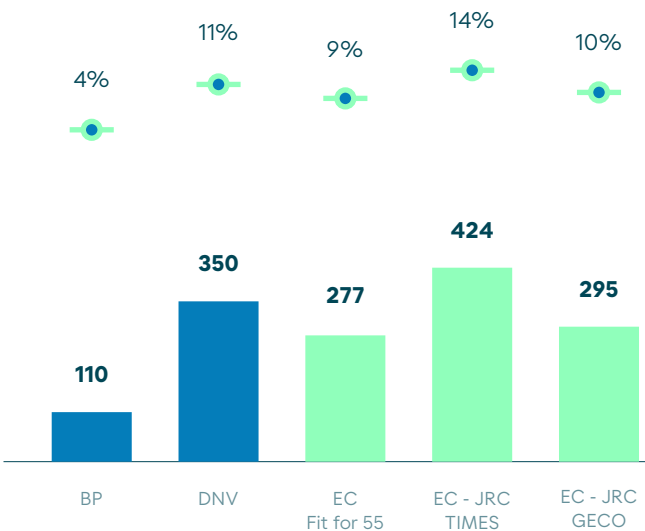
Figura 36 Escenarios de demanda de bioenergía en la industria de la UE (TWh, 2030-2050)

● % demanda final industrial¹ ■ Escenario Alternativo ■ Escenario sugerido

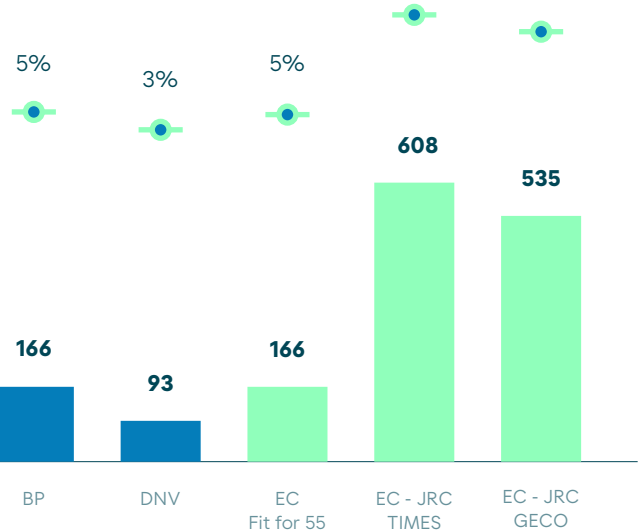
En el corto plazo, **la mayoría de los escenarios sugieren un nivel de consumo similar al actual, que varía entre 300 y 400 TWh, y representa el 10-15% del total.**

En el largo plazo, **hay una mayor dispersión en las proyecciones del mercado, con un consumo que varía entre 200 y 600 TWh, especialmente debido a la posibilidad de escasez de biomasa en usos industriales, ya que podría asignarse a otros sectores (transporte marítimo, aviación, etc.)**

2030



2050



Notas: (1) Sobre la demanda final industrial de la UE en 2050 son 3.064 TWh según escenario STEPS del WEO 2025
Fuentes: Comisión Europea; Análisis Moeve

03

Aprovechando el impulso: Acelerando la reducción de emisiones en sectores difíciles de descarbonizar



3.1.

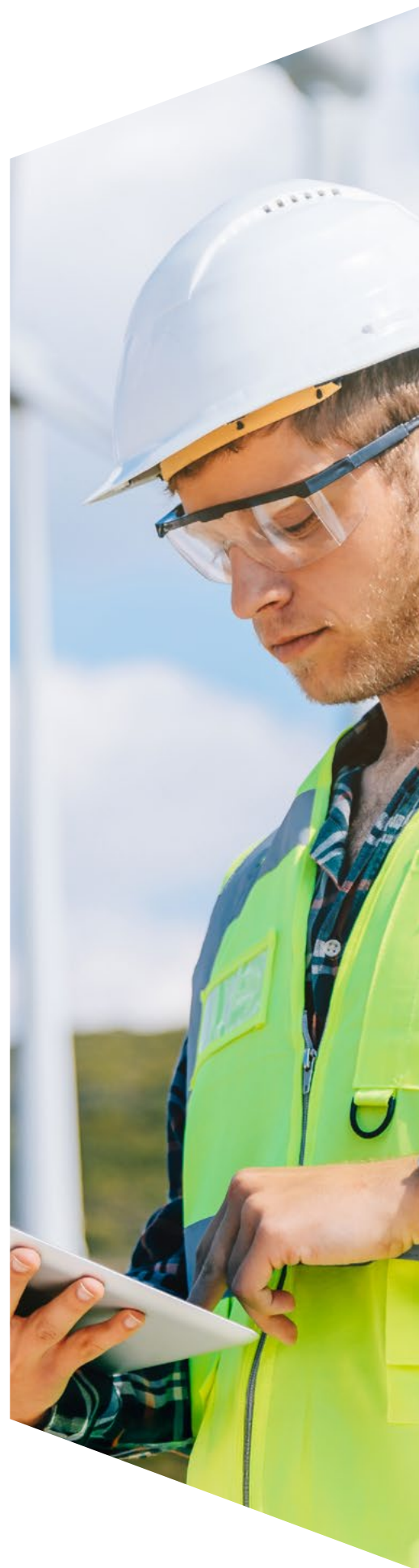
Jerarquía de adopción de moléculas verdes

La velocidad a la que se adoptan las moléculas verdes estará influenciada por varios factores, incluyendo el tipo de molécula verde específico, el sector de uso final previsto, la disponibilidad de recursos, la eficiencia de la descarbonización y las alternativas que compiten entre sí para reducir las emisiones en diferentes sectores. Sin embargo, la Unión Europea posee las herramientas necesarias para acelerar la adopción de estas moléculas en toda la región.

La región cuenta con una infraestructura robusta en sectores clave como el repostaje de combustible, la aviación y la energía. Con algunos de los volúmenes de tráfico aéreo y marítimo más altos del mundo, la Unión Europea alberga puertos y aeropuertos de gran relevancia global, consolidándose como un centro clave para la aviación y el repostaje. Se espera que este fuerte posicionamiento en infraestructuras facilite la adopción de biocombustibles 2G y e-combustibles (combustibles a base de hidrógeno) para el transporte, contribuyendo a los objetivos de descarbonización de la región. Aunque actualmente Europa depende de las importaciones de biomasa procedentes de Asia, la región tiene una posición privilegiada en términos de disponibilidad de los recursos necesarios para la producción de moléculas verdes, incluyendo abundantes residuos de biomasa para biocombustibles 2G y los recursos de energía renovable necesarios para desarrollar hidrógeno verde competitivo en toda Europa.

Esta situación proporciona una ventaja significativa en la transición hacia las moléculas verdes en comparación con otras regiones y se refleja en la cantidad de proyectos de hidrógeno y biocombustibles 2G que se proyectan en la Unión Europea. En concreto, Europa lidera la iniciativa global en el desarrollo de proyectos de hidrógeno, con un total de 12,7 millones de toneladas por año (Mtpa) entre sus proyectos anunciados para 2030⁵³. Aunque, Hydrogen Europe estima que la capacidad real a 2030 podría ser de 2,3 Mtpa, teniendo en cuenta la probabilidad de que algunos proyectos no se materialicen. Europa cubrirá así aproximadamente el 60% de su demanda regulatoria estimada. Si bien estas estimaciones se encuentran por debajo del objetivo establecido por REPowerEU de alcanzar una capacidad de producción interna de 10 Mtpa para 2030, reflejan un avance real y esencial en el desarrollo de la infraestructura necesaria para acelerar la producción de hidrógeno en los años posteriores.

Asimismo, el contexto internacional actual está liderado por China, que lidera la implantación de electrolizadores para la generación de hidrógeno renovable y cuenta con más de la mitad de la capacidad global comprometida a nivel global, con el objetivo de ganar independencia frente a los combustibles fósiles. Por su parte, Europa ocupa el segundo puesto en capacidad comprometida de hidrógeno renovable, con cerca del 20% del total global. Este impulso por parte de China destaca una realidad cada vez más clara, reforzar la seguridad energética y la competitividad industrial mediante la transición energética ya no es solo una opción, sino una prioridad estratégica para Europa. Cumplir y acelerar este avance será clave no solo para cubrir la demanda propia con producción local, sino para sentar las bases de un mercado que definirá la siguiente década.



⁵³ "Merchant Hydrogen Generation Market Size & Share 2025-2034", Global Market Insights

Dentro de Europa, España es reconocida como líder en la cartera de proyectos de Power-to-Hydrogen (PtH) y cuenta con el objetivo de electrólisis más ambicioso de la Unión Europea para 2030. Según Hydrogen Europe, este liderazgo se atribuye a las condiciones favorables de España relacionadas con los recursos energéticos y las iniciativas gubernamentales ambiciosas⁵⁴. En Iberia (España y Portugal), se prevé para 2030 una producción de 0,39 Mtpa de hidrógeno renovable, asociada a una capacidad de generación de 3 GW en España y 0,9 GW en Portugal. Aunque esta cifra se sitúa por debajo de los 12 GW inicialmente planteados en España, este objetivo se mantiene y continúa marcando la apuesta del país por esta tecnología. Se espera, además, que el despliegue se acelere a medida que se consolide el marco regulatorio, por ejemplo, con la transposición de RED III en el ámbito del transporte, así como con el avance de los procedimientos de acceso y conexión, y la materialización de ayudas públicas que faciliten la toma de decisión final de inversión en grandes proyectos. En este contexto España muestra una posición de liderazgo en Europa, por delante de otros mercados de referencia, como Alemania, donde se espera un despliegue de 2,2 GW⁵⁵.

Este liderazgo de España se debe, en parte, al despliegue que ya ha comenzado a materializarse, con múltiples actores que han tomado la decisión final de inversión en sus proyectos de hidrógeno. Es el caso de Moeve, que ha aprobado la primera fase del Valle Andaluz del Hidrógeno Verde, Onuba, un proyecto de 300 MW con una inversión superior a 1.000 millones de euros y que se posiciona como el mayor proyecto de hidrógeno verde de la UE destinado a la industria energética. Repsol, por su parte, ha dado luz verde a un electrolizador de 100 MW en Petronor, destinado a reforzar la descarbonización industrial. También destacan iniciativas en su fase final de construcción, como la de BP e Iberdrola en Castellón, de 25 MW.

A nivel europeo, cabe destacar otros casos, particularmente en Suecia, donde esta tendencia también se consolida mediante proyectos como el de Stegra, que recientemente ha instalado 740 MW de electrolizadores, lo que permitirá poner en marcha la mayor planta de producción de hidrógeno de Europa, cuya producción se destinará a la fabricación de acero verde.

En el desarrollo de proyectos de biocombustibles, destaca el enfoque en la producción de SAF. Actualmente, la Unión Europea tiene una capacidad de producción de SAF de 1,7 Mt, en su mayoría basada en tecnología HEFA, y se prevé la construcción de nuevas instalaciones entre 2025 y 2030, lo que permitiría alcanzar una capacidad total de 4,5 millones de toneladas. A nivel global, Estados Unidos lidera con una capacidad total prevista de 7 millones de toneladas, sin embargo, en la actualidad, está priorizando la producción récord de alternativas fósiles como el petróleo y gas.

Cabe subrayar que, en número de proyectos planificados para el desarrollo de tecnología SAF, Europa destaca al concentrar el mayor número de instalaciones previstas. Estas futuras infraestructuras representan alrededor del 44% de los proyectos a nivel mundial y suman una capacidad estimada de 4,5 millones de toneladas.

España se posiciona como uno de los países con mayor potencial para la producción de SAF, ocupando el cuarto lugar a nivel mundial. Actualmente, cuenta con una planta HEFA en operación y otra en construcción. Para el período 2025-2030, se han anunciado 5 proyectos adicionales: 3 nuevas plantas basadas en tecnología PtL y 2 con tecnología HEFA. Se estima que, para 2030, la producción de SAF en España podría alcanzar los 1,55 Mt. Sin embargo, las inversiones actualmente anunciadas prevén una capacidad de producción de solo 0,78 Mt para ese año, una cifra suficiente para cubrir la demanda estimada de SAF (HEFA) en 2030, pero insuficiente para satisfacer la demanda proyectada para 2040, tanto de SAF (HEFA) como de combustibles sintéticos (PtL).

Por tanto, los biocombustibles están preparados para desempeñar un papel clave en la descarbonización y ya contribuyen a este proceso mediante el SAF, el diésel renovable en el transporte por carretera y el diésel marítimo y biometanol en el transporte marítimo. Actualmente, disponen de los recursos necesarios para su producción y adopción a corto plazo, respaldados por un alto grado de madurez tecnológica. No obstante, a medio y largo plazo, la creciente competitividad del hidrógeno verde y sus derivados reducirá la dependencia exclusiva de los

⁵⁴ "Clean Hydrogen Monitor 2023", Hydrogen Europe

⁵⁵ "Clean Hydrogen Monitor 2025", Hydrogen Europe

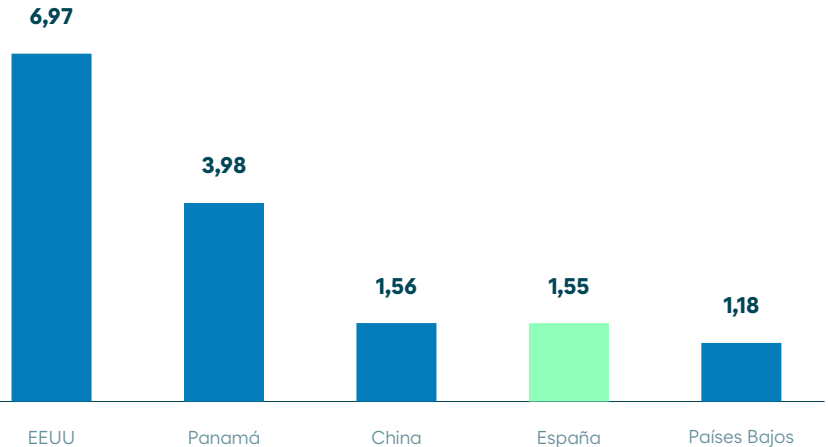


Europa representa alrededor del 30% del suministro global de hidrógeno anunciado para 2030, con España como líder en Power-to-Hydrogen (PtH), apuntando a una capacidad de 3 GW para 2030.

Figura 37 Los 5 principales países productores de SAF (Mt¹, 2030)

Los 5 principales países

productores de SAF representan el **66%** de la capacidad potencial total proyectada para **2030**. El alto potencial de Panamá se debe a su posición como un centro de comercio de combustibles a nivel internacional.



Notas: (1) 1Mt = 33TWh;

Fuentes: Argus Media, IEA Bioenergy y Análisis Moeve

biocombustibles para la descarbonización. Esto dará lugar a un escenario de coexistencia tecnológica, en el que los biocombustibles y los e-combustibles se complementarán para cumplir los objetivos regulatorios y de reducción de emisiones.

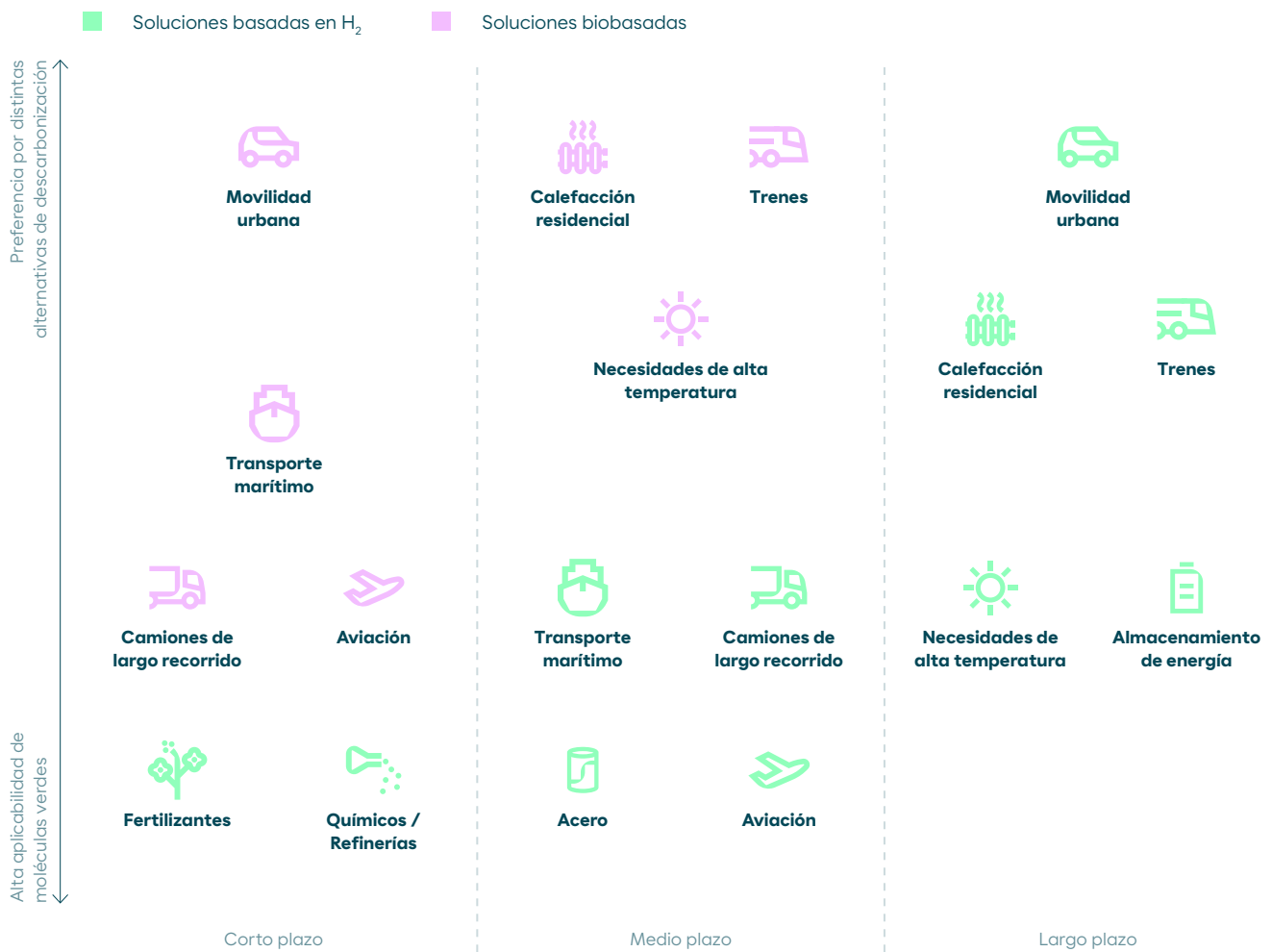
El hidrógeno verde y sus derivados comenzarán a impulsar la descarbonización de la Unión Europea a corto y medio plazo, desempeñando un papel inicial en sectores donde se utiliza como materia prima y no requiere grandes inversiones en CAPEX, renovación o modernización. Esto permitirá reducir las emisiones en industrias de difícil abatimiento, como el refinado y la producción de fertilizantes. A medida que su competitividad aumente, el hidrógeno verde ampliará su alcance a otros sectores, como la industria siderúrgica, el transporte marítimo, mediante amoníaco o metanol sintético, el transporte pesado por carretera con camiones de hidrógeno de largo recorrido y la aviación, donde se empleará queroseno sintético en vuelos de media y larga distancia.

Los valles de hidrógeno, ubicados estratégicamente cerca de centros industriales, instalaciones petroquímicas, acerías, puertos y refinerías, jugarán un papel clave en el desarrollo de moléculas verdes. Su proximidad a estas infraestructuras facilita la integración de tecnologías sostenibles y el escalado de proyectos de e-combustibles como el e-metanol y el e-amoníaco. La disponibilidad de hidrógeno limpio y abundante refuerza la viabilidad de su producción a gran escala, respondiendo a la creciente demanda de alternativas sostenibles en distintas industrias.

Además, la estabilidad de precios del hidrógeno verde lo convierte en una opción particularmente atractiva para sectores con necesidades de coste predecible, como la producción de amoníaco para fertilizantes. A diferencia del gas natural, materia prima tradicional para su fabricación, el hidrógeno verde ofrece una estructura de costes más estable, lo que resulta crucial para el sector agrícola. La volatilidad de los precios del gas puede afectar significativamente a los agricultores, especialmente en períodos clave como la temporada de siembra, cuando la demanda de fertilizantes es más alta. Al adoptar hidrógeno verde, la industria agrícola se protege de estas fluctuaciones, mejorando la eficiencia económica en la producción de fertilizantes y garantizando una mayor estabilidad en el desarrollo de cultivos.

En este contexto, la adopción de moléculas verdes y el ritmo de descarbonización en los sectores de difícil abatimiento estarán determinados por diversos factores. Se espera que los biocombustibles desempeñen un papel clave en la reducción inmediata de emisiones en el transporte marítimo, la aviación y el transporte pesado por carretera. Paralelamente, el hidrógeno verde ganará protagonismo como materia prima en industrias como la de fertilizantes y refinerías. A medio y largo plazo, los combustibles basados en hidrógeno jugarán un papel cada vez más relevante en el transporte, especialmente a medida que la escasez de biomasa limite la escalabilidad de los biocombustibles.

Figura 38 Jerarquía de soluciones de moléculas verdes.



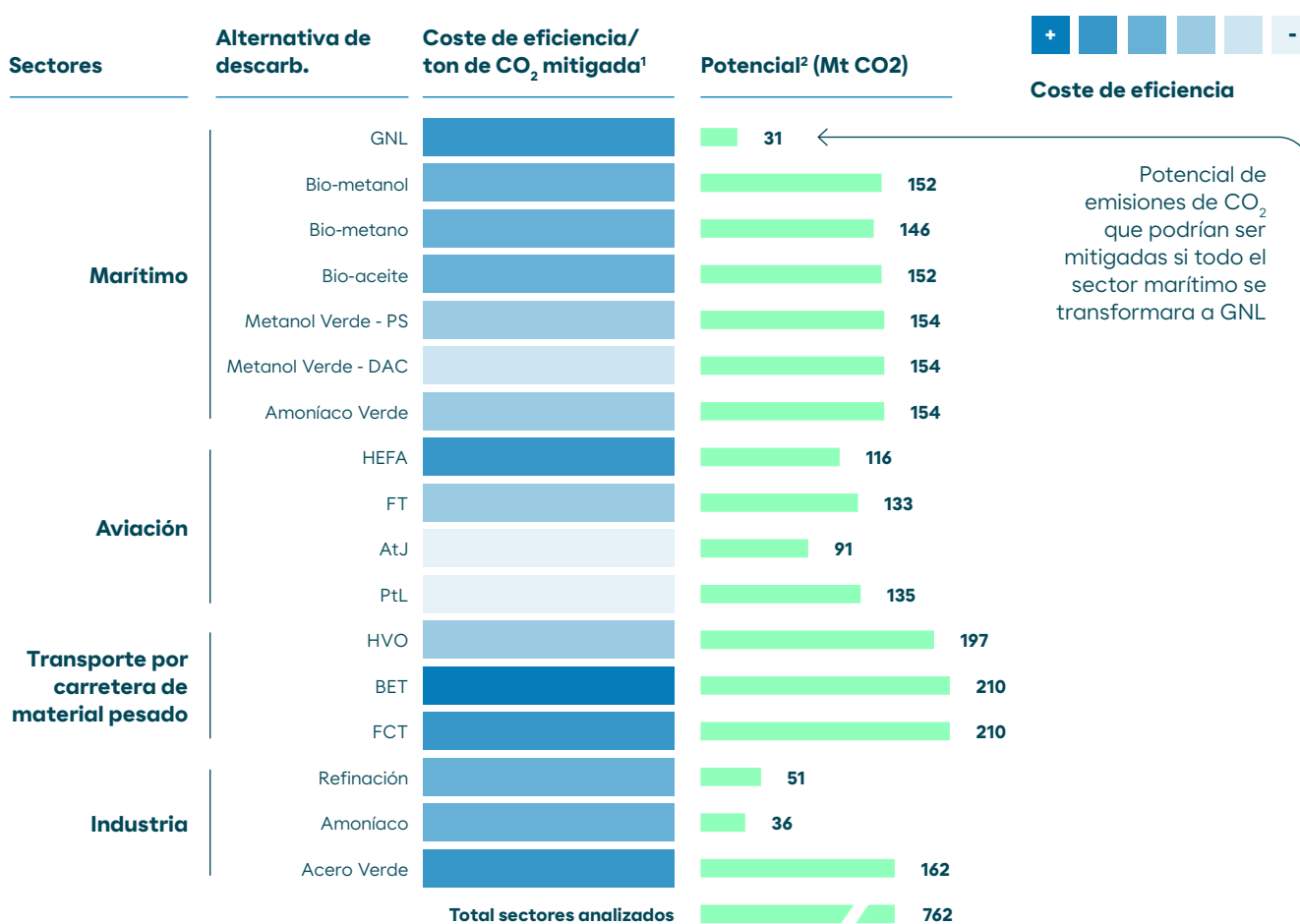
Fuentes: análisis Moeve basado en Ramboll Group

Por otro lado, al evaluar la velocidad de adopción de las moléculas verdes en diferentes sectores de difícil abatimiento, es clave analizar la intensidad y eficiencia de la descarbonización entre las diversas vías disponibles para priorizar la ruta de descarbonización más eficiente, dado que cada aplicación permite reducir una cantidad determinada de emisiones con un coste asociado.

Después de los vehículos eléctricos de batería (BET) y las celdas de combustible (FCT) para el transporte por carretera de carga pesada, las estrategias de descarbonización más eficaces incluyen el uso de amoníaco para la producción de fertilizantes, los biocombustibles en los sectores marítimo y de aviación, y el acero verde. Estas soluciones no solo permiten una reducción rentable de emisiones, sino que también ofrecen un gran potencial para disminuir las emisiones de manera significativa.

No obstante, aunque sectores como el del acero pueden encontrar eficiente el coste de la reducción de emisiones, la necesidad de modificar los procesos de producción y de adquirir nuevos equipos implica inversiones significativas en CAPEX, lo que podría ralentizar el ritmo de descarbonización y reducir las emisiones en este sector. Por otro lado, sectores que no requieren inversiones en nuevo CAPEX ni alteraciones en los procesos productivos, como la producción de fertilizantes, las refinerías y, en particular, los biocombustibles para el transporte, tienen el potencial de acelerar la descarbonización sectorial. Estos sectores presentan menores riesgos en la transición hacia moléculas verdes, lo que facilita su adopción más rápida y contribuye de manera efectiva a los objetivos globales de descarbonización.

Figura 39 Matriz de costes de reducción de emisiones



Notas: (1) Comparado con combustibles fósiles alternativos. Calculado como $(TCO_i - TCO_{fósil}) / (t\ CO_{2efósil} - t\ CO_{2ei})$; (2) Potencial para reducir CO₂e en Europa, estimaciones basadas en emisiones de CO₂e actuales y diferencias en los factores de emisión entre la alternativa de descarbonización y alternativa fósil convencional.

Fuentes: análisis Moeve basado en IEA, IRENA, Hydrogen Europe, EEA, WEF y MMM



3.2.

Ventaja de coste de las moléculas verdes sobre los combustibles convencionales

La competitividad entre las moléculas verdes y los combustibles convencionales jugará un papel crucial en determinar la evolución de las moléculas verdes en diversos sectores de la economía europea. Garantizar una transición económica sostenible es esencial para evitar efectos negativos en la economía de la región y en su población.

La competitividad futura de los combustibles fósiles frente a los combustibles verdes estará determinada por una serie de factores, que variarán según el tipo de combustible. En el caso de los combustibles fósiles convencionales, como el queroseno, diésel, fuel oil o LNG, los principales factores que influirán en sus precios futuros serán el coste de las emisiones de CO₂, así como los precios del Brent y del gas natural.

Por el contrario, para los biocombustibles como el bio-SAF, el biometanol o el diésel renovable, así como los combustibles derivados del hidrógeno como el amoníaco, el metanol o el e-SAF, el precio de materias primas esenciales como la biomasa, el hidrógeno verde y el CO₂ capturado serán los factores clave que influirán en los precios finales de los combustibles.

La mayoría de las previsiones del mercado indican que los biocombustibles están en camino de alcanzar la paridad de precios con los combustibles fósiles en todos los sectores de difícil abatimiento en la década de 2030. Por otro lado, se espera que los combustibles derivados del hidrógeno logren su competitividad a medio y largo plazo, comenzando en la década de 2040. Sin embargo, cada sector de difícil abatimiento presenta características particulares que afectan la competitividad de sus combustibles, lo que requiere un análisis detallado de cada uno.

Dado que la competitividad de los combustibles depende de las hipótesis sobre los costes de las materias primas, el Coste Nivelado del Hidrógeno (LCOH) y el CCU, se ha realizado un análisis de la sensibilidad de dicha competitividad ante diferentes suposiciones de costes. Para ello, se han examinado los escenarios proporcionados por la IEA en su World Energy Outlook de 2025, en los cuales se proyectan los precios del Brent, el gas natural y las emisiones de CO₂ y las hipótesis de LCOH.

La IEA establece tres escenarios diferentes: el Escenario de Políticas Actuales (CPS), que considera exclusivamente las políticas y regulaciones ya adoptadas en legislación, sin asumir nuevos cambios aunque los gobiernos hayan indicado su intención de realizarlos; el Escenario de Políticas Declaradas (STEPS), que amplía la lectura del panorama político incluyendo también aquellas políticas que han sido formalmente presentadas pero aún no adoptadas, así como otros documentos estratégicos oficiales; y el Escenario NZE, que define los requisitos necesarios para alcanzar la neutralidad climática para 2050 y limitar el calentamiento global a 1,5°C. En cuanto a las hipótesis sobre CCU, estas dependen de otras fuentes, como IRENA o el WEF, ya que la IEA no proporciona un pronóstico sobre estos precios.

Competitividad de las moléculas verdes en el sector marítimo

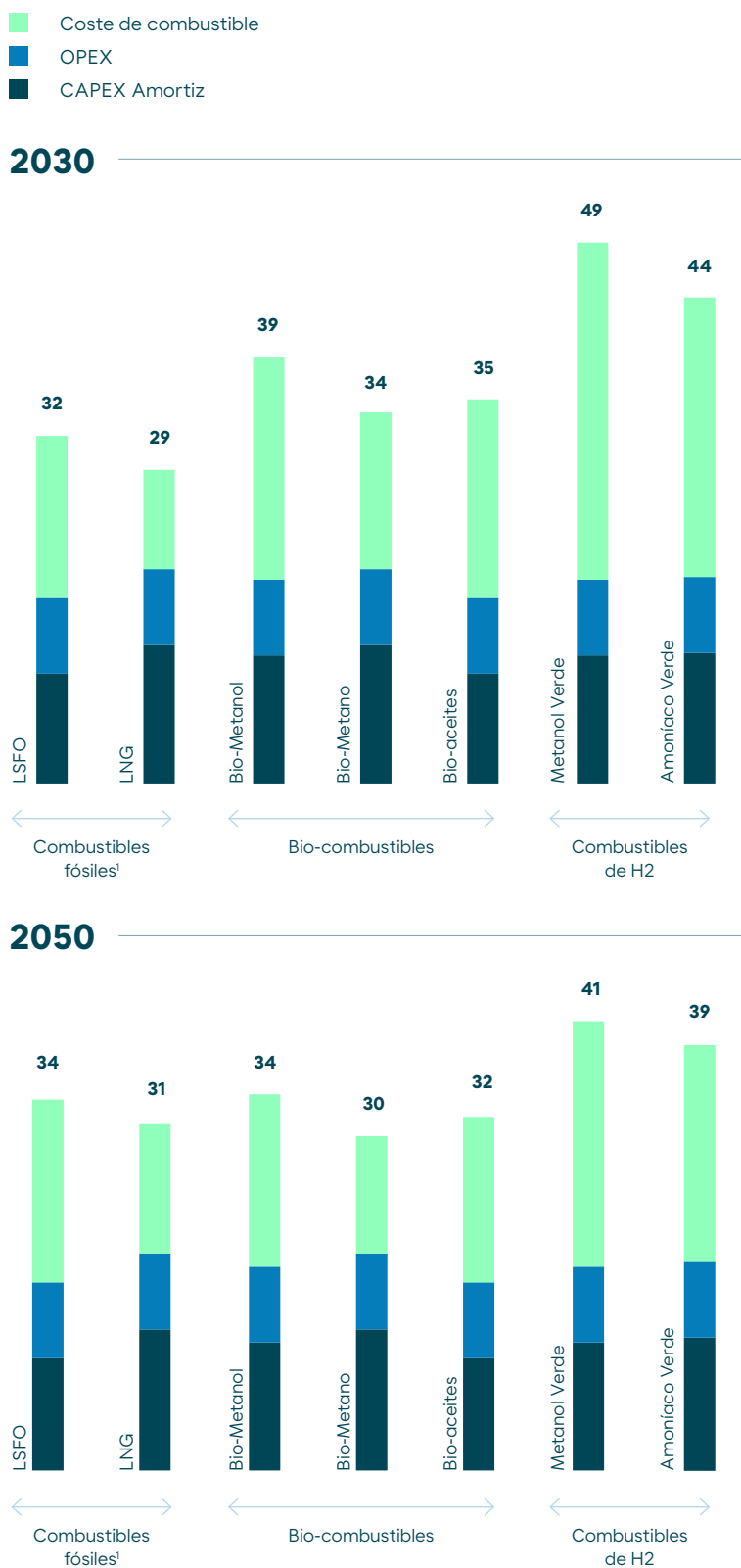
En el sector marítimo, el análisis de competitividad se enfoca en las principales alternativas para descarbonizar grandes embarcaciones, que representan el 80-90% de las emisiones del sector. Este análisis requiere evaluar el TCO, dado que tanto los precios futuros de los combustibles como el CAPEX y el OPEX de diversas tecnologías impactan la competitividad futura.

Dentro de las alternativas de combustibles fósiles, se han analizado el LSFO y el LNG. Se proyecta que estos combustibles experimentarán un aumento de precio entre 2030 y 2050 debido al incremento significativo de las emisiones, lo que afectará su competitividad.

En el ámbito de los biocombustibles, se ha prestado especial atención al biometanol, al biometano y a los buques de diésel renovable, debido a las altas expectativas de su adopción en el futuro. Entre ellos, el biometano y los bioaceites como el diésel renovable se presentan como los más competitivos, con la expectativa de alcanzar la paridad de precios con los combustibles fósiles en la década de 2030, posicionándose como los biocombustibles con mejor desempeño.

Se anticipa una notable disminución en los precios de los combustibles a base de hidrógeno, respaldada por la reducción del coste del hidrógeno verde, el cual se estima que tendrá un coste de producción inferior a 2 €/kg para el año 2050, tras una drástica reducción en el coste de los electrolizadores y un reducido precio de la electricidad renovable. Los combustibles clave en esta categoría incluyen el metanol producido mediante Captura en Fuente Puntual (PS) o Captura Directa de Aire (DAC) de CO₂, y el amoníaco. Se espera que estos combustibles logren la paridad de precios con el LSFO convencional a finales de la década de 2050, aunque podría darse incluso antes en regiones con recursos abundantes.

Figura 40 TCO para tecnologías de transporte de contenedores (M€ al año)



Notas: (1) Emisiones de CO₂ consideradas

Fuentes: IEA; MMM - Marks Mc-Kinney Miller Center for Zero Carbon Shipping; IRENA; Análisis Moeve



El biometano se posiciona como la molécula verde más competitiva para la descarbonización del sector marítimo tanto a corto como a largo plazo, aprovechando la infraestructura portuaria y de transporte marítimo existente.

Competitividad del SAF

El sector de la aviación, que contribuye de manera significativa a las emisiones, especialmente en los vuelos de media y larga distancia donde se concentra el 80-90% de las emisiones del sector, está experimentando una transformación importante hacia la descarbonización. Este enfoque en la sostenibilidad ha centrado la atención en las alternativas como el SAF, que podrían reemplazar al queroseno tradicional. Evaluar la competitividad futura del SAF es crucial para asegurar una transición energética sostenible en la industria.

Para evaluar esta competitividad, se ha establecido una correlación con el precio futuro del Brent para prever los precios futuros del queroseno. A esta correlación del precio del queroseno se le suman los costes correspondientes de emisiones de CO₂ por tonelada de queroseno. Este enfoque integral proporciona un punto de referencia sólido para evaluar la competitividad futura del SAF.

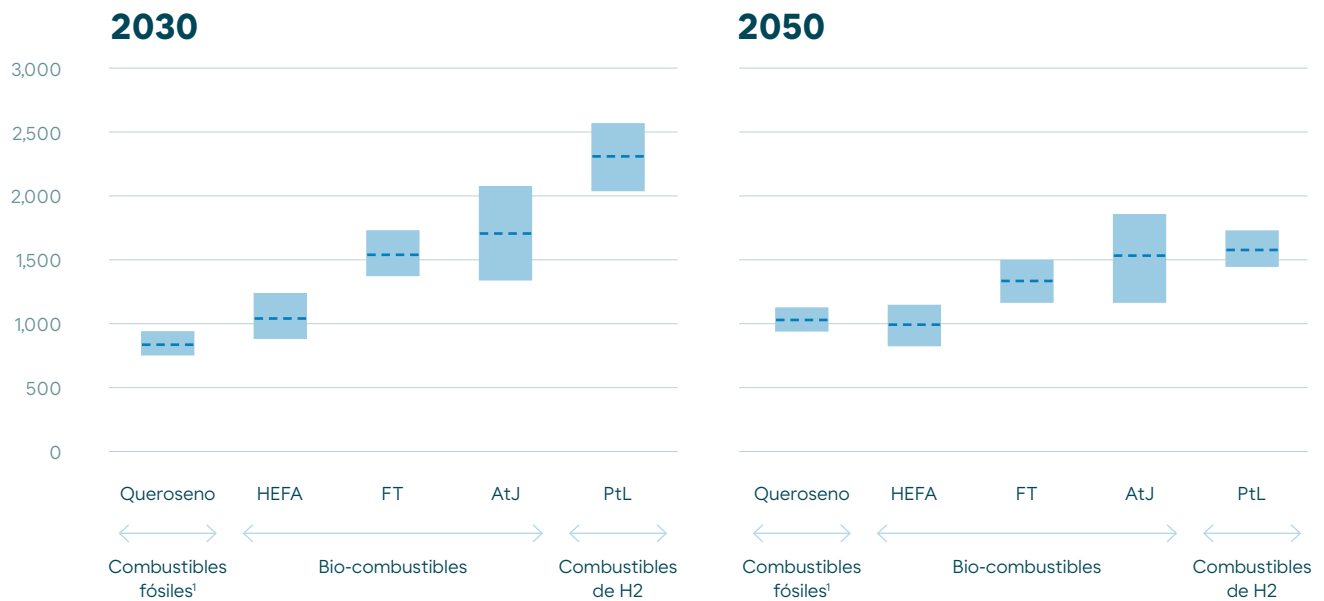
En este contexto, los costes de los combustibles de aviación basados en biocombustibles e hidrógeno no son homogéneos. La tecnología HEFA se presenta como la opción más económica, alcanzando la paridad de costes con el queroseno convencional en la década de 2030. Su fortaleza radica en su madurez técnica y comercial, así como en su dependencia de materias primas asequibles, como el aceite usado y los desechos. Las proyecciones sugieren que los precios de HEFA se mantendrán estables, con una ligera disminución atribuida a la reducción esperada en los precios del hidrógeno utilizado para la producción de combustible.

Por otro lado, las rutas FT y AtJ son menos competitivas, principalmente debido a su menor madurez tecnológica y a unos mayores CAPEX. Sin embargo, se prevé que su competitividad mejore a medida que la tecnología madure y los CAPEX disminuyan, alcanzando la paridad de costes con los combustibles fósiles hacia finales de la década de 2040.

El PtL, por su parte, se presenta como la opción más cara a corto plazo, debido a su tecnología emergente y a los altos costes de la materia prima, especialmente el hidrógeno verde, que representa más del 70% de los costes de producción. A pesar de estos desafíos, el PtL tiene el potencial de reducir significativamente sus precios en el futuro, dependiendo de la evolución de los precios de la energía y del hidrógeno verde. Se espera que el PtL pueda competir con los combustibles tradicionales para finales de la década de 2040, especialmente si se mantiene la tendencia de reducción en el coste nivelado del hidrógeno (LCOH), lo que mejoraría sustancialmente los costes de producción de queroseno sintético.

En resumen, la competitividad de los combustibles verdes de aviación depende de varios factores, como los procesos de producción, la madurez tecnológica y el CAPEX. Aunque el HEFA se posiciona como líder en la actualidad, el PtL presenta un gran potencial para el futuro. La evolución de estos factores será determinante para el desarrollo competitivo del SAF frente al queroseno tradicional.

Figura 41 Rango de escenarios de costes de SAF (€/t)



Notas: (1) Incluye costes de emisiones de CO2
Fuentes: IEA; WEF; Análisis Moeve

Competitividad de las moléculas verdes en el transporte por carretera

En el sector del transporte pesado por carretera, la competitividad futura de las moléculas verdes es clave, especialmente en el segmento de camiones. Se espera que la adopción de estas moléculas tenga un impacto significativo, con énfasis en el diésel renovable y las celdas de combustible alimentadas por hidrógeno.

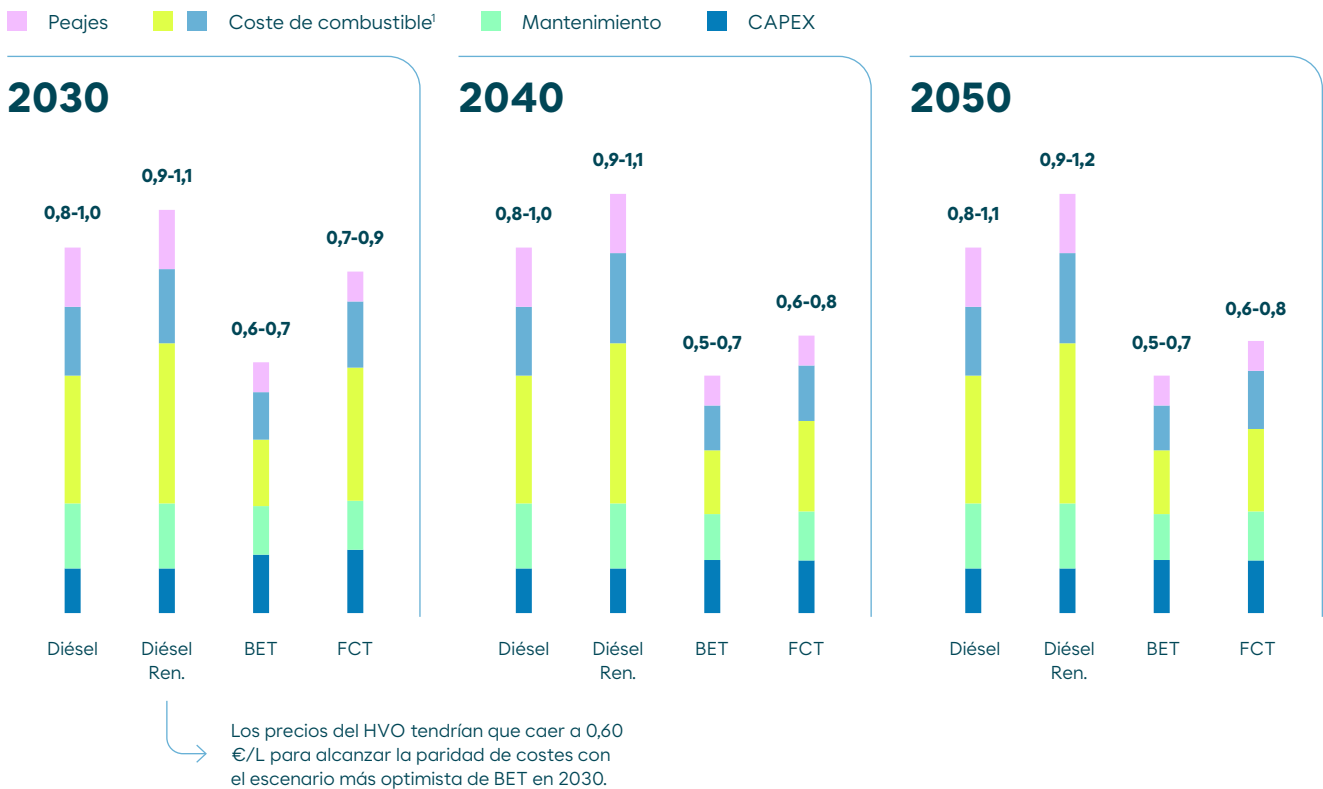
Cuatro combustibles principales dominan este sector: el diésel tradicional, el renovable, la electricidad para cargar camiones eléctricos y el hidrógeno para celdas de combustible (FCT). La evaluación de la competitividad se centra en el TCO, considerando el impacto crucial del CAPEX en la competitividad de las diversas alternativas de descarbonización, junto con los costes de combustible.

El diésel renovable surge como un competidor potencial del diésel tradicional, al ofrecer ventajas de coste eliminando los gastos asociados con las emisiones de CO₂. Sin embargo, los camiones eléctricos de batería (BET) se perfilan como la opción más competitiva. A pesar de su mayor CAPEX inicial, sus menores costes de mantenimiento y la eficiencia energética que reduce los costes operativos impulsarán su competitividad por encima del diésel tradicional para 2030. Además, se proyecta que los vehículos de celdas de combustible serán más competitivos que el diésel tradicional para 2030, con una mejora aún más notable esperada para 2050, gracias a la reducción de los precios del hidrógeno y el CAPEX.

Un factor clave que mejora la competitividad de estas opciones es la reducción de los peajes para los Vehículos de Cero Emisiones (BET y FCT), según las regulaciones europeas. Este aspecto regulatorio proporciona un incentivo adicional para la adopción de soluciones de transporte pesado por carretera más sostenibles, haciendo que las alternativas más ecológicas sean aún más competitivas.



Figura 42 TCO para tecnologías de camiones de carga pesada (€/Km)



Notas: (1) El área rayada representa el rango alto de costes de combustible
Fuentes: Análisis Moeve

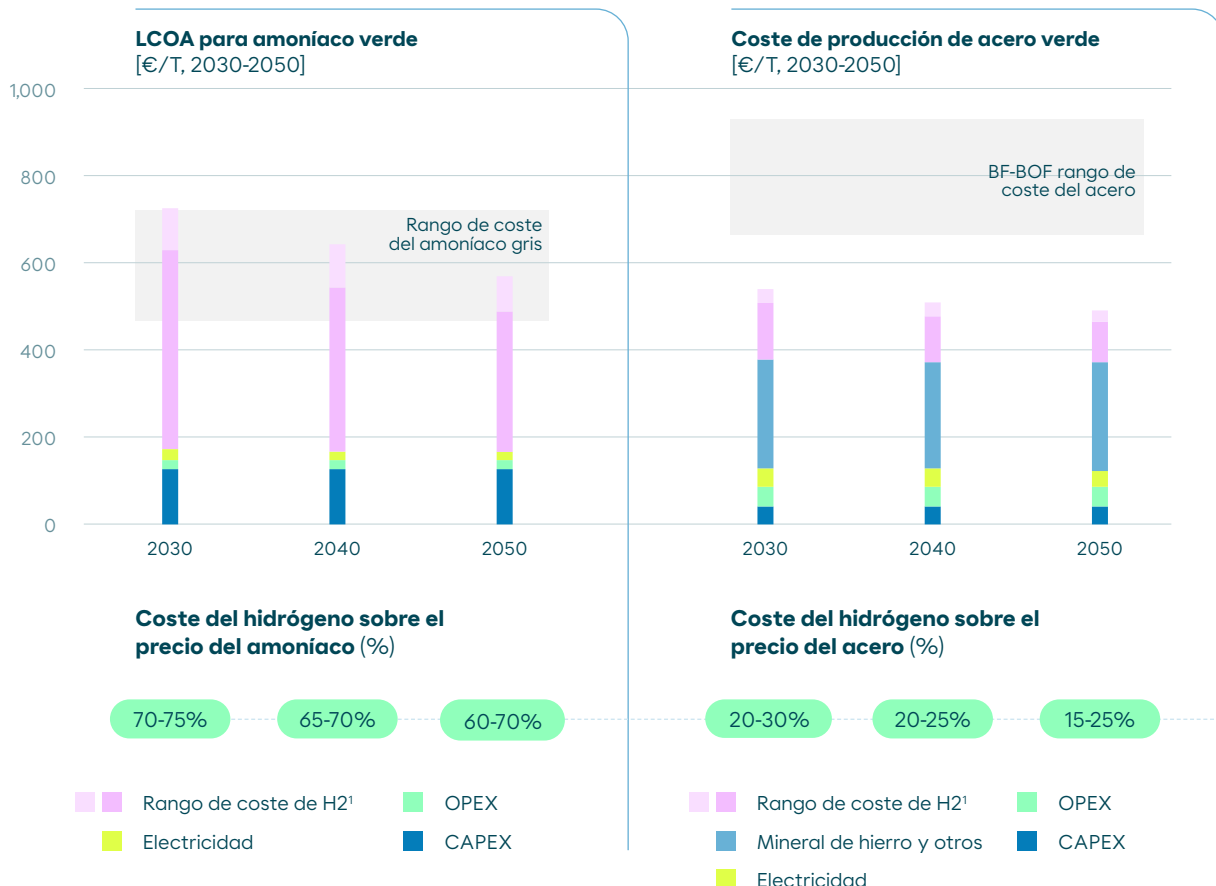
Competitividad de las moléculas verdes en la industria

En el sector industrial, la descarbonización avanza mediante diversas soluciones tecnológicas adaptadas a los usos finales específicos y las características de cada sector. En un análisis exhaustivo de la competitividad de las moléculas verdes en la descarbonización de la industria, cabe destacar la industria del amoníaco verde y la del acero verde. Además, otros sectores, como el de los minerales no metálicos, adoptan enfoques diferentes para la descarbonización, basándose en tecnologías como la captura de carbono, la mejora de la eficiencia energética y la optimización en el uso de materiales, cada una de ellas desempeñando un papel crucial en el proceso global de descarbonización.

Enfocándonos en el sector del amoníaco verde, la competitividad depende del método de producción, destacándose el reformado con vapor de metano (SMR). La competitividad se estima considerando el precio del gas natural, un componente clave en la producción de amoníaco gris, junto con las emisiones asociadas a la producción de una tonelada de este combustible gris, basándose en los precios de las emisiones de CO₂. Es importante señalar que la producción de amoníaco verde se centra en el hidrógeno verde, y las proyecciones apuntan a que este tipo de amoníaco alcanzará la paridad de costes con el amoníaco gris hacia la década de 2040.

Por otro lado, la industria del acero, con la producción de acero verde, se presenta como otro sector crítico para evaluar la competitividad de la adopción de moléculas verdes en la industria, impulsada por el hidrógeno verde. Este proceso transformador tiene el potencial de ser competitivo a partir de la década de 2030.

Figura 43 LCOA para amoníaco verde y coste de producción del acero verde



Notas: (1) El área rayada representa el rango alto de costes de h₂
Fuentes: Hydrogen Europe; IEA; Análisis Moeve



3.3.

Green premium: Explorando el impacto del green premium en los precios percibidos por los usuarios finales

En medio de crecientes preocupaciones sobre la sostenibilidad ambiental, las industrias están explorando cada vez más la integración de moléculas verdes en sus procesos de producción. Este movimiento es impulsado no solo por el deseo de mantenerse competitivos en el mercado, sino también por obligaciones regulatorias y compromisos voluntarios para descarbonizar operaciones, particularmente para abordar las emisiones de Alcance 3⁵⁶.

La colaboración entre distintos sectores es clave para impulsar el mercado de las moléculas verdes. Empresas de la industria automovilística, así como del sector de alimentos y bebidas, están estableciendo alianzas estratégicas con productores de acero y amoníaco verde para desarrollar productos libres de combustibles fósiles. Esta transición hacia soluciones más sostenibles responde a una creciente demanda del mercado y a la necesidad de alinearse con los esfuerzos globales de descarbonización.





Los primeros en adoptar estas tecnologías desempeñan un papel fundamental en acelerar el cambio dentro de sus industrias. De hecho, muchas grandes empresas buscan evitar quedar rezagadas en la carrera hacia la sostenibilidad. Según estudios del WEF, aproximadamente el 20% de los productores de acero a nivel mundial ya se han comprometido con objetivos de cero emisiones netas.

⁵⁶ Las emisiones de Alcance 3 (Scope 3 emissions) se refieren a aquellas emisiones indirectas de gases de efecto invernadero que ocurren en la cadena de valor de una empresa, pero que no son generadas directamente por sus propias operaciones o por la energía que consume.

Para las empresas que operan en distintos mercados, la adopción de modelos de negocio más sostenibles representa no solo un compromiso ambiental, sino también una oportunidad comercial en los mercados emergentes de bajo carbono. Un ejemplo de esto es Yara International, líder en nutrición de cultivos, que ha aprovechado su estrategia de descarbonización para obtener una ventaja competitiva en la producción de amoníaco verde. Además de utilizarlo en fertilizantes, ha comenzado a comercializarlo como combustible para el transporte, demostrando el potencial de la innovación y la diversificación en la transición hacia una economía más sostenible.

Al evaluar el impacto del green premium en diferentes productos a corto plazo, hasta que las moléculas verdes logren la paridad de precios con los combustibles convencionales (se espera hacia la década de 2040), se hace evidente que los costes adicionales tienden a repercutir en toda la cadena de valor del producto. Sin embargo, la mayoría de los productos se volverían solo un 1-5% más caros.

Figura 44 Evaluación del “green premium” en 2030 para los principales sectores difíciles de descarbonizar

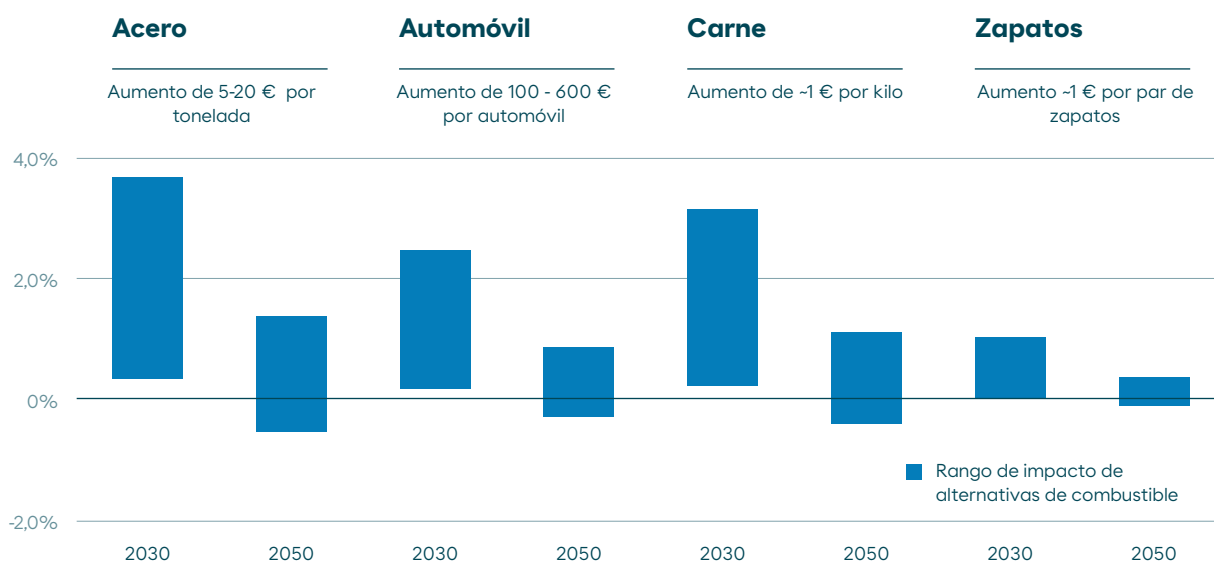
Sectores difíciles de descarbonizar	Fabricantes de acero	Fertilizantes	Transporte marítimo	Aviación
	 Carbón metalúrgico	 H ₂ gris	 Combustible marino	 Queroseno
Alternativa de descarb.	H ₂ verde para la ruta DRI-EAF	H ₂ verde / Amoníaco en planta de urea	Biocombustibles (metanol, GNL o diésel) junto con buques de e-metanol y amoníaco	De base biológica como HEFA, FT, AtJ y basado en hidrógeno verde como PtL
Impacto del “green premium”	1-2% Automóvil de pasajeros	1-5% Trigo y maíz	1-4% Aumento del precio al por menor	1-5% Aumento del precio del billete

Fuentes: análisis Moeve basado en Hydrogen Europe, IEA, Maersk Mc-Kinney Moller y WEF.

Por ejemplo, optar por acero verde en la fabricación de coches podría resultar en un aumento de precio de menos del 2%. De igual manera, se espera que introducir amoníaco verde en los procesos agrícolas tenga un impacto limitado en los precios de los fertilizantes y, por ende, en los cultivos. Se estima que el impacto promedio en el precio del trigo y el maíz sería del 1 al 5%, atribuido al green premium asociado con prácticas sostenibles. Estos ejemplos reflejan que la transición hacia alternativas verdes tiene un impacto moderado en diversas industrias. La viabilidad de integrar moléculas verdes sin generar costes excesivos sugiere que este cambio es asumible dentro de la dinámica del mercado y las preferencias de los consumidores.

En el sector del transporte marítimo, se observa una tendencia similar. Aunque algunas embarcaciones ecológicas tienen actualmente un coste entre dos y tres veces superior al de las convencionales, el impacto en el precio final de los productos sería limitado. Esto se debe a que los costes de transporte representan solo una pequeña parte del precio total, por lo que el incremento estimado en el precio minorista sería de entre un 1% y un 4%. En este contexto, y hasta que se alcance la paridad de precios, el coste añadido de transportar, por ejemplo unas zapatillas, con moléculas verdes sería de en torno a 50 céntimos por unidad. Cada vez más industrias están explorando opciones de transporte sostenible y los consumidores muestran una creciente disposición a pagar un green premium. En este contexto, los costes adicionales de las embarcaciones verdes se evalúan en función de los objetivos de sostenibilidad, reafirmando el compromiso del sector con prácticas más responsables.

Figura 45 Impacto del “green premium” del transporte sobre el precio minorista



Precio asumido al por menor

~600 €/ton

~30.000 €

~20 €/kg

~100 €/par

Precio asumido de transporte

25 – 30 €/ton

800 – 1.000 €

~1 €/kg

1 - 2 €

Fuentes: IEA; MMM - Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping; Análisis Moeve

En el sector de la aviación, la adopción progresiva de SAF, en línea con los objetivos regulatorios, provocará un aumento moderado en el precio de los billetes. Actualmente, el SAF es entre 2 y 3 veces más caro que los combustibles convencionales, pero su impacto en el precio final será gradual, ya que su incorporación en la mezcla de combustibles se hará de forma progresiva. Además, a medida que su uso se amplíe, se espera que los avances tecnológicos reduzcan su coste, mientras que el precio del queroseno tradicional podría aumentar debido al encarecimiento de las emisiones de CO₂. Como resultado, el impacto estimado en el precio de los billetes oscilaría entre 1 y 5 euros en vuelos intraeuropeos y hasta 40 euros en rutas transoceánicas.

En conclusión, el green premium que asumen los consumidores varía según la industria, pero su impacto general tiende a ser limitado. Además, la creciente demanda de productos sostenibles, especialmente en economías avanzadas como la europea, contribuye a mitigar este efecto. Según un informe del Centro Mærsk Mc-Kinney Møller para el Transporte Marítimo con Cero Carbono, el 70% de los consumidores europeos están dispuestos a pagar hasta un 5% más por productos sostenibles. Esta tendencia sugiere una buena acogida del mercado y un impulso para la adopción continua de moléculas verdes y prácticas más respetuosas con el medioambiente en distintos sectores.

04

Lo que se necesita para desbloquear la industrialización verde de Europa



4.1.

Afrontar un desafío importante aprovechando la infraestructura existente, los recursos naturales y los usos actuales de la demanda

Europa está preparada para desempeñar un papel de liderazgo en los esfuerzos globales de descarbonización y garantizar la adopción generalizada de moléculas verdes. La región cuenta con varios impulsores que contribuyen a una vía de transición verde. Entre estos factores se encuentra la capacidad de crear combustibles basados en hidrógeno de manera competitiva en costes, gracias a la abundante capacidad para generar electricidad renovable competitiva y, en consecuencia, hidrógeno verde en la región. Además, Europa cuenta con políticas que promueven la reutilización de residuos para la creación de biocombustibles que, complementadas con prácticas de biomasa y silvicultura, proporcionan las materias primas necesarias para su producción. Por otro lado, Europa posee una infraestructura de vanguardia, tanto tecnológicamente avanzada como bien integrada en la región. Los distintos patrones de consumo entre los países europeos y la sólida industria europea contribuyen a que la región cuente con algunos de los centros industriales, de abastecimiento y de aviación más relevantes a nivel mundial. Asimismo, la necesidad de garantizar la seguridad e independencia energética, junto con las limitaciones de las redes eléctricas, subraya la necesidad de integrar moléculas verdes en la estrategia de descarbonización europea. Al capitalizar las fortalezas de ambos portadores de energía, Europa puede fortalecer una transición energética resiliente y sostenible hacia una economía baja en carbono. Todos estos factores proporcionan a Europa una serie de ventajas competitivas en la adopción de moléculas verdes en comparación con otras regiones.

Uno de los impulsores clave en el desarrollo de moléculas verdes en Europa a medio y largo plazo es la disponibilidad de energía renovable abundante, eficiente y competitiva para la producción rentable de hidrógeno. La electricidad requerida para la producción de hidrógeno verde constituye alrededor del 70% del coste de producción de hidrógeno, por lo que maximizar su eficiencia de costes es clave para el desarrollo del hidrógeno verde.

El sur de Europa, particularmente la península ibérica, emerge como una región con un potencial significativo para lograr un Coste Nivelado del Hidrógeno (LCOH) altamente competitivo.



Este potencial se debe al Coste Nivelado de Electricidad (LCOE) notablemente competitivo derivado de los abundantes recursos solares fotovoltaicos y eólicos terrestres. Tal como se detalla en el análisis de Goldman Sachs titulado “Carbonomics: The Clean Hydrogen Revolution”, las proyecciones sugieren que para 2030, Iberia podría producir hidrógeno verde a aproximadamente la mitad del coste en comparación con Europa Central y los países nórdicos, convirtiéndose en un potencial proveedor a gran escala de moléculas verdes en la región. La sinergia entre los amplios recursos eólicos del norte de Europa y la irradiación solar del sur de Europa crea condiciones óptimas para el desarrollo de parques eólicos eficientes e instalaciones solares. Estas fuentes renovables desempeñan un papel fundamental en garantizar el Coste Nivelado de Electricidad (LCOE) más bajo y facilitan el desarrollo y escalado de moléculas verdes basadas en hidrógeno en toda la región.



El sur de Europa, particularmente la península ibérica, tiene un potencial significativo para producir hidrógeno verde a un LCOH altamente competitivo, casi a mitad de precio que el norte de Europa.

Además, toda la región sur de Europa, al beneficiarse de una alta radiación solar, es un área donde los costes de electricidad son significativamente competitivos. Combinados con las abundantes corrientes de viento en el norte de Europa, respaldadas por tecnologías terrestres y marítimas, estas condiciones crean un entorno óptimo para desarrollar parques eólicos e instalaciones solares eficientes en toda la región.

Se prevé que el desarrollo de moléculas verdes a partir de hidrógeno verde sea un esfuerzo colaborativo en toda la región, aprovechando la energía renovable competitiva de Europa. Este enfoque colectivo, que abarca varios países, tiene como objetivo obtener hidrógeno y combustibles sintéticos de manera competitiva, capitalizando la amplia inversión y desarrollo tecnológico de la región en energía renovable, junto con abundantes recursos naturales para un crecimiento sostenido.

Según el informe “Clean Hydrogen Monitor 2025” de Hydrogen Europe⁵⁷, y alineado con estudios del Hydrogen Council y del European Hydrogen Backbone, los proyectos anunciados en la Unión Europea alcanzan una producción de hidrógeno de 12,7 Mtpa de hidrógeno verde para 2030, aunque, actualmente, solo el 5% de estos se encuentra en fase de desarrollo. El estudio identifica al sur de Europa, destacando regiones como Iberia, así como al norte de Europa, incluyendo los países nórdicos y el Reino Unido, como los principales futuros productores. Se anticipa que estas regiones contribuyan con más del 70% del suministro de hidrógeno para 2040, aprovechando sus abundantes recursos naturales, con la energía solar predominando en el sur y el viento en el norte. Esto subraya el papel estratégico de las diversas regiones europeas para satisfacer la demanda de hidrógeno y avanzar en la transición a energía verde.

⁵⁷ “Clean Hydrogen Monitor 2025”, Hydrogen Europe

En términos de disponibilidad de recursos de biomasa y el uso de residuos orgánicos para el desarrollo de biocombustibles 2G, Europa ocupa una posición destacada. El continente se beneficia de ecosistemas y climas diversos, lo que contribuye a un suministro abundante y variado de biomasa. Este conjunto de recursos incluye una gama de materiales orgánicos como residuos agrícolas y ganaderos, subproductos forestales y corrientes de desechos orgánicos de varios sectores. Las prácticas forestales sostenibles desempeñan un papel crucial en mantener la disponibilidad de biomasa para la producción de energía, asegurando simultáneamente la preservación de la biodiversidad y la salud de los ecosistemas. Los ricos y variados recursos de biomasa en Europa proporcionan una base para el desarrollo sostenible de biocombustibles 2G.

Esta abundancia de recursos de biomasa ofrece una oportunidad sustancial para producir biocombustibles de segunda generación, contribuyendo a soluciones energéticas sostenibles y a la descarbonización de sectores difíciles de abatir. Sin embargo, es crucial reconocer que se espera que la demanda de biomasa aumente significativamente en el futuro, impulsada por el aumento de las necesidades de calefacción y el uso de biomasa para biocombustibles de segunda generación. No obstante, según varios estudios disponibles públicamente, como los realizados por Concawe y el Imperial College London, junto con escenarios desarrollados por la Comisión Europea, la disponibilidad de biocombustibles de segunda generación podría oscilar entre 1.800 y 3.000 TWh para 2050, dependiendo de los escenarios considerados.

Dentro de esta alta capacidad de biomasa, Europa también posee un potencial significativo para la producción de biogás. A nivel europeo, como se mencionó anteriormente, el continente tiene los recursos necesarios para promover tanto la circularidad como la reutilización de recursos orgánicos, así como para aumentar la valorización de estos residuos para su uso en la producción de un gas renovable como el biometano.

La principal ventaja del biometano radica en su composición molecular, que es idéntica a la del gas natural, otorgándole así las mismas propiedades. Esta similitud coloca al biometano en una posición clave, ya que se puede utilizar como un sustituto directo. Esto lo convierte en una solución de descarbonización inmediata y a corto plazo para una amplia gama de aplicaciones.

La integración del biometano como reemplazo de combustibles fósiles es fundamental para acelerar la transición hacia una economía baja en carbono en múltiples sectores. Su sustitución directa por gas natural lo convierte en una solución práctica para la descarbonización de los sistemas energéticos sin requerir cambios importantes en la infraestructura existente. El biometano se puede utilizar dentro del mismo equipo y redes, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles mientras se aprovecha la infraestructura de gas existente para apoyar flujos de energía sostenibles.

Por lo tanto, el biometano se posiciona como la alternativa renovable clave para descarbonizar las redes de gas, utilizadas para usos residenciales, comerciales e industriales sin afectar al usuario final, quien podría seguir utilizando el mismo equipo mientras descarboniza sus usos térmicos.

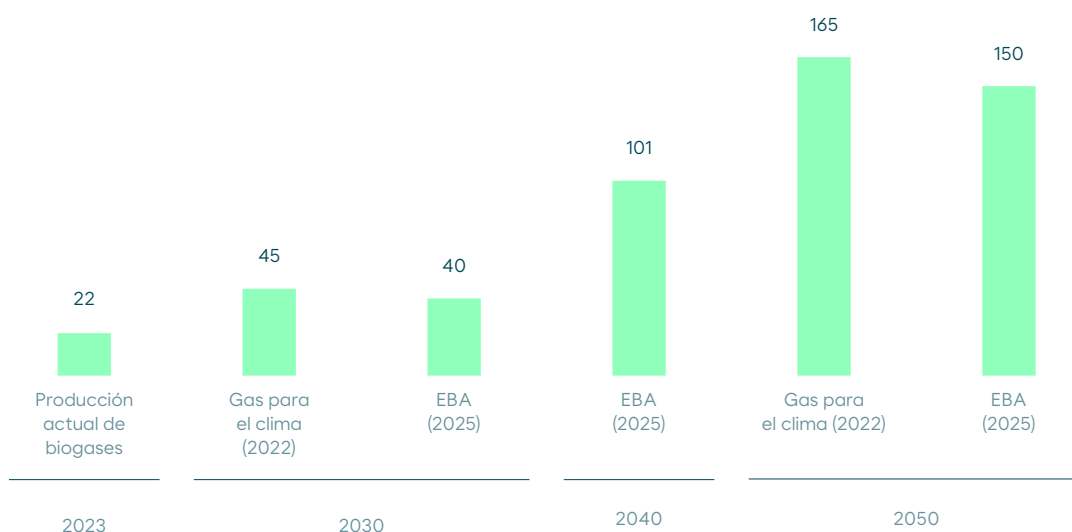
Además, en industrias de alta emisión que dependen de procesos de temperatura media y alta, el biometano permite la descarbonización sin interrumpir las operaciones, abordando una de las áreas más desafiantes para la reducción de carbono.

El biometano también tiene un potencial significativo en el transporte, tanto en aplicaciones marítimas como terrestres. El sector marítimo, que actualmente depende de derivados del petróleo como el aceite combustible y el diésel, podría reducir su impacto ambiental al adoptar biometano, proporcionando una alternativa sostenible a los combustibles convencionales. El transporte por carretera, particularmente los camiones de carga pesada, también podría beneficiarse del perfil de emisiones más limpias del biometano.

Además, el biometano desempeña un papel vital en el apoyo a la producción de hidrógeno verde. Su compatibilidad dentro de los procesos SMR utilizados para el hidrógeno gris permite una transición inmediata a la producción de hidrógeno verde, promoviendo el uso de recursos renovables y ayudando a las industrias a cumplir con los objetivos de sostenibilidad y metas de descarbonización.

Esta combinación de condiciones ambientales y recursos permite que la capacidad potencial de biometano de Europa se convierta en una palanca clave de descarbonización. La Asociación Europea de Biogás (EBA) ha publicado un informe que destaca tanto el estado actual de la producción de biogás en Europa como su potencial futuro. Según el informe, la producción de biogás en Europa alcanzó los 22 bcm/año en 2024. Además, enfatiza el potencial significativo del continente, estimando que entre 2030 y 2050, la capacidad de biogás podría aumentar de 40 bcm/año a 150 bcm/año⁵⁸. Este potencial de capacidad de biogás para 2050 significaría cubrir entorno al 45% de la demanda actual de gas de la Unión Europea⁵⁹.

Figura 46 Potencial de biometano en Europa (bcm/año)



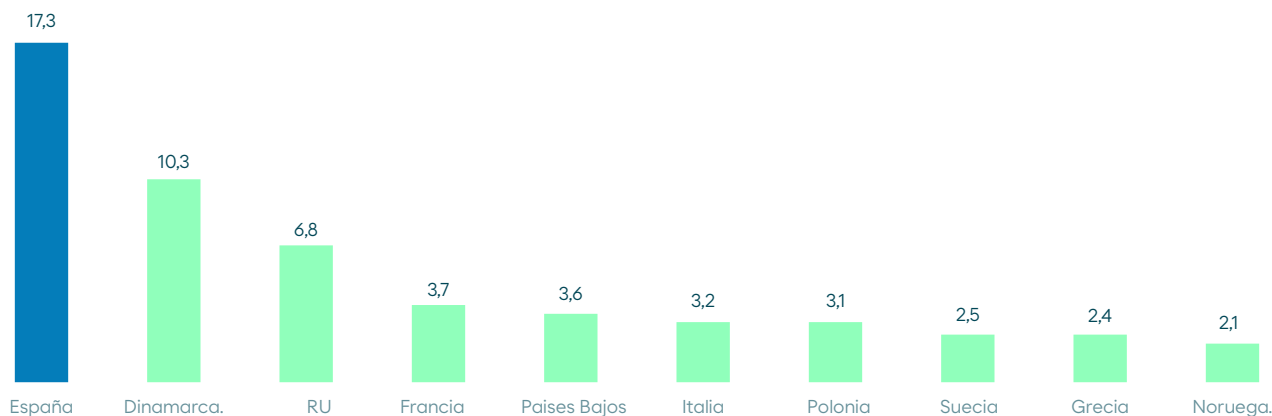
Fuentes: EBA (2025); Gas for Climate; Análisis Moeve

⁵⁸ "EBA Statistical Report 2025", European Biogas Association

⁵⁹ "Estudio de la capacidad de producción de biometano en España", Sedigas

Dentro de este potencial de producción, España está bien posicionada para convertirse en un actor clave, especialmente en la producción de biometano, donde ocupa el primer puesto⁶⁰ en términos de volúmenes de inversión y capacidad prevista en el corto plazo.

Figura 47 Los 10 principales países con potencial de biometano en Europa (TWh/año)



Fuentes: EBA; Análisis Moeve

Además, diversos estudios^{61,62} ofrecen diferentes estimaciones para la capacidad potencial de España en el largo plazo, dependiendo de las fuentes de producción consideradas, aunque todas las estimaciones siguen siendo altas. Según estudios de EBA y Gas por el Clima, se estima que la capacidad potencial de España alcanzará aproximadamente 19,5 bcm/año para el año 2050.

El compromiso de Europa con la transición energética y los objetivos de descarbonización ha impulsado inversiones e innovaciones en el sector de las energías renovables. Los marcos políticos a nivel de la Unión Europea brindan apoyo regulatorio e incentivos para el desarrollo e implementación de soluciones de moléculas verdes. Además, los esfuerzos de I+D (investigación y desarrollo) se centran en la competitividad, mejorando la eficiencia y sostenibilidad en el uso de moléculas verdes, y la colaboración entre los actores de la industria y los responsables políticos impulsará la innovación en combustibles basados en biomasa y en hidrógeno, con el objetivo de maximizar los beneficios ambientales y económicos del uso de los recursos naturales mientras se minimiza su huella ambiental. En general, los abundantes y diversos recursos naturales de Europa, junto con los avances continuos en tecnología de moléculas verdes y marcos políticos de apoyo, posicionan al continente como líder global en su producción y demanda.

En la configuración de la adopción de moléculas verdes, Europa se guiará por los patrones de consumo, particularmente influenciados por los centros de abastecimiento existentes para el transporte marítimo y los aeropuertos. Estos centros establecidos están preparados para desempeñar un papel fundamental en facilitar la adopción de moléculas verdes en todo el continente.

⁶⁰ "Biogas investment outlook, 3rd edition", (2025), EBA

⁶¹ "Biogas towards 2040 and beyond", (2024), European Biogas Association

⁶² "Geographical analysis of biogas potential and costs in Europe in 2050", Engie



A medida que se intensifica el enfoque global en la descarbonización del transporte marítimo, los principales puertos a lo largo de la costa europea, como Rotterdam, Amberes, Algeciras o Huelva, desempeñarán un papel crucial en satisfacer la demanda de biocombustibles y combustibles basados en hidrógeno, emergiendo como centros clave de abastecimiento para la industria marítima. Simultáneamente, la extensa red de aeropuertos de Europa, liderada por grandes aeropuertos como Frankfurt, Charles de Gaulle (París) o Barajas (Madrid), presenta oportunidades significativas para la adopción de SAF. Se espera que las aerolíneas, con el objetivo de reducir su huella de carbono y cumplir con estrictas regulaciones de emisiones, impulsen la demanda de SAF, resaltando aún más la importancia sus centros de producción.

La creación de infraestructuras que fomenten la interconexión dentro del continente será fundamental para Europa, ya que permitirá el desarrollo del mercado único e integrado. Moeve participa en diversos proyectos que impulsan la descarbonización y fortalecen la seguridad energética del continente a través del desarrollo de la infraestructura necesaria para la creación del mercado del futuro. Destacan en Europa el primer corredor marítimo de hidrógeno verde, que une Algeciras y Rotterdam, o el corredor H2med con la conexión Bar-Mar, destinado a ser la red troncal de la cadena de valor para el desarrollo del hidrógeno en Europa a 2030.

Con estos desarrollos, Europa tiene el potencial de transformarse en un centro para la producción, distribución y consumo de moléculas verdes. Esta transformación contribuiría significativamente a la transición del continente hacia fuentes de energía sostenibles.

De manera similar, las moléculas verdes desempeñarán un papel clave en garantizar el suministro energético futuro y el desarrollo eficiente de la infraestructura, especialmente ante el riesgo de cuellos de botella y la saturación actual de la red a causa de los extensos esfuerzos de electrificación. Las fuentes de energía renovable como el viento y la solar, cruciales para los esfuerzos de descarbonización, presentan características intermitentes y estacionales. Confiar únicamente en las redes eléctricas para gestionar estas fluctuaciones en la producción y demanda de energía puede no ser suficiente para lograr la estabilidad y resiliencia necesarias del sistema energético.

Las moléculas verdes proporcionan una alternativa a los combustibles tradicionales, permitiendo un extenso almacenamiento de energía y diversificación de las fuentes de energía. Esto asegura un suministro de energía confiable durante períodos de generación limitada de energía renovable, promoviendo la independencia energética y la seguridad de suministro para Europa al reducir la dependencia de una única fuente de energía. Además, el transporte de moléculas verdes a través de tuberías o barcos ofrece ventajas notables sobre el transporte de electricidad a través de la red.



4.2.

Barreras y desafíos para acelerar la adopción de moléculas verdes

A pesar de la posición ventajosa de Europa con abundantes recursos naturales e infraestructura existente, el camino hacia la adopción generalizada de moléculas verdes y el logro de los objetivos de descarbonización presenta desafíos multifacéticos. Estos desafíos abarcan diversos marcos temporales e incluyen dimensiones tecnológicas, económicas, regulatorias y sociales. Abordar estos desafíos de manera efectiva será crucial para liberar todo el potencial de las moléculas verdes en la contribución a un futuro sostenible y bajo en carbono.

No obstante, se están desarrollando activamente una serie de medidas de apoyo y habilitadores para evitar que estos desafíos se conviertan en impedimentos, como objetivos regulatorios ambiciosos, I+D tecnológica junto con subsidios e incentivos gubernamentales, entre otros. Además, las asociaciones colaborativas entre los principales interesados contribuyen a un esfuerzo concertado para superar obstáculos y promover la adopción generalizada de moléculas verdes.

Figura 48 Desafíos clave y facilitadores para acelerar la adopción de moléculas verdes

Desafíos



Inversiones requeridas



Suministro seguro y sostenible



Desarrollo de infraestructura



Competitividad de costes y disposición del usuario a pagar

Facilitadores



Iniciativas regulatorias para promover moléculas verdes



Desarrollo tecnológico (I+D)



Subvenciones e incentivos gubernamentales



Alianzas entre los principales interesados

Fuentes: análisis Moeve.



Uno de los principales desafíos radica en satisfacer los requisitos sustanciales de inversión asociados con el desarrollo de moléculas verdes. Los altos costes iniciales para infraestructura y tecnología, junto con períodos prolongados de recuperación y las incertidumbres del mercado, requieren una planificación cuidadosa y colaboración entre las partes interesadas para mitigar los riesgos financieros y asegurar la viabilidad a largo plazo.

Por otro lado, asegurar un suministro adecuado y sostenible de materia prima representa un desafío significativo, particularmente para los biocombustibles de segunda generación. Si bien la biomasa, los desechos urbanos y los aceites usados sirven como materia prima esencial para estos biocombustibles, su disponibilidad finita y las limitaciones de escalabilidad destacan la necesidad de soluciones innovadoras para abordar posibles escaseces de suministro y fluctuaciones de precios. De manera similar, obtener materia prima de CO₂ para la producción de combustibles electrónicos plantea desafíos logísticos que requieren planificación estratégica e inversión en tecnologías de captura de carbono. También existe el riesgo de que estas materias primas no sean genuinamente sostenibles, una preocupación destacada recientemente por la Comisión Europea.

El desarrollo de infraestructura es otra área crítica que requiere atención, particularmente en lo que respecta a la ampliación de la producción y distribución de hidrógeno, amoníaco y metanol. Los desafíos en la implementación de tecnologías de electrólisis subrayan la importancia de inversiones estratégicas y esfuerzos colaborativos para expandir la capacidad de infraestructura y satisfacer la creciente demanda.

Además, las diferencias de costes actuales entre las tecnologías de moléculas verdes y las alternativas convencionales representan una barrera significativa para la adopción generalizada. Sin embargo, los avances tecnológicos continuos, junto con el aumento en las emisiones de CO₂ para las alternativas fósiles y la disminución de los costes de las fuentes de energía renovable, ofrecen perspectivas de reducciones graduales de costes, mejorando finalmente la competitividad de las moléculas verdes en el mercado energético.

Por último, el deseo de los usuarios finales de adoptar medidas de descarbonización varía según los sectores y regiones, dependiendo de factores como la competitividad de costes, las preferencias de los consumidores, las consideraciones económicas y la conciencia sobre la descarbonización y los productos sostenibles. Abordar estos desafíos requiere esfuerzos concertados para fomentar una mayor conciencia, incentivar prácticas sostenibles y construir consenso entre los usuarios para impulsar la transición hacia un futuro energético más sostenible y descarbonizado.

Para asegurar una transición exitosa hacia la adopción de moléculas verdes, se han implementado diversas medidas de apoyo y habilitadores en diferentes sectores para abordar las incertidumbres y superar los desafíos.

La regulación surge como el habilitador para la promoción de moléculas verdes y es fundamental no solo para establecer objetivos ambiciosos para las moléculas verdes, sino también para establecer marcos que estimulen su producción y adopción. Los reguladores están activamente involucrados en aumentar estos objetivos e implementar mecanismos para impulsar tanto la producción como la demanda. Sin embargo, aún quedan tareas cruciales por delante, como desarrollar sistemas de certificación para garantizar la sostenibilidad de los procesos de producción. Asimismo, explorar opciones como proporcionar subsidios a la inversión o beneficios fiscales a los primeros en adoptar moléculas verdes puede incentivar aún más la transición hacia moléculas verdes. En el desarrollo de infraestructura, las regulaciones juegan un papel crucial en simplificar y agilizar los procesos de permisos para proyectos.

El papel del desarrollo tecnológico es fundamental para impulsar el avance de las moléculas verdes. Trazando paralelismos con el rápido crecimiento experimentado en la generación de electricidad renovable solar y eólica, los avances tecnológicos continuos están preparados para generar reducciones significativas de costes, particularmente en la producción de hidrógeno. Se anticipa que estos avances reforzarán la competitividad de las moléculas verdes, haciéndolas alternativas más viables a las soluciones convencionales. En el contexto del uso de moléculas verdes como combustible, varios desafíos se resolverán a medida que progresen las innovaciones tecnológicas. Aunque el hidrógeno tiene una alta densidad de energía por masa, su energía por volumen es baja. Como resultado, se requieren instalaciones de almacenamiento grandes, o el hidrógeno debe comprimirse o licuarse (lo que aumenta la demanda de energía) para reducir su volumen. Los subsidios gubernamentales, complementados por mecanismos de estabilización de precios, actúan como herramientas poderosas para incentivar la inversión en proyectos de moléculas verdes. Medidas como imponer sanciones por incumplimiento de mandatos o implementar “contratos por diferencias” pueden proporcionar estabilidad y previsibilidad a los inversores. Además, los mecanismos de fijación de precios del carbono y los límites de emisiones proporcionan un impulso adicional y estimulan la adopción de soluciones energéticas sostenibles, impulsando aún más la transición hacia tecnologías de moléculas verdes. De manera similar, priorizar proyectos es crucial al concentrar la ayuda, en lugar de dispersarla en múltiples iniciativas, asegurando así la viabilidad de proyectos estratégicos. Asimismo, políticas como la reducción de peajes de acceso a la red pueden beneficiar la competitividad de proyectos de hidrógeno verde y combustibles electrónicos, mejorando y facilitando el desarrollo de proyectos.

Junto con el apoyo regulatorio y los incentivos financieros, las asociaciones entre partes interesadas clave, tanto públicas como privadas, también desempeñan un papel fundamental en la ampliación de la producción y su alineación con la demanda del mercado, mitigando los riesgos de los primeros inversores. A través de esfuerzos colaborativos, las partes interesadas pueden navegar de manera más efectiva los desafíos logísticos, estableciendo contratos a largo plazo y forjando alianzas estratégicas. Al aprovechar la experiencia y los recursos de cada uno, las partes interesadas pueden impulsar la innovación y facilitar la adopción generalizada de moléculas verdes, contribuyendo significativamente a la transición hacia un futuro energético sostenible.

En conclusión, aunque persisten desafíos significativos en la búsqueda de los objetivos de descarbonización y el avance de las moléculas verdes, se están llevando a cabo esfuerzos concertados para abordar estas barreras y allanar el camino hacia la descarbonización. Las mejoras regulatorias, los avances tecnológicos, los incentivos financieros y las asociaciones estratégicas están impulsando este progreso hacia un futuro energético sostenible.



4.3.

Impulsar el crecimiento: Potenciar la creación de empleo y el avance económico con moléculas verdes sostenibles

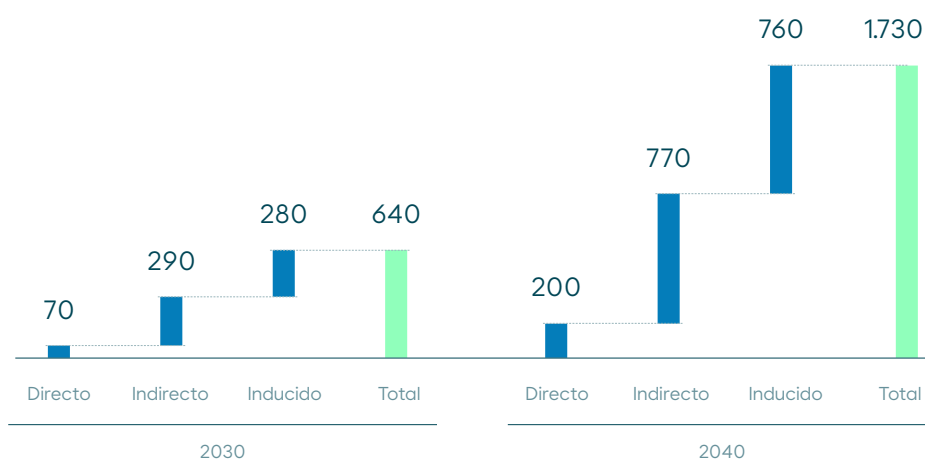
La transición energética facilitada por el avance de las moléculas verdes está destinada a impulsar un crecimiento sustancial en la Unión Europea, con implicaciones significativas para las oportunidades de empleo regionales y el progreso económico.

Más allá de su impacto generalizado, ciertas regiones dentro de la UE, dotadas de abundantes recursos renovables para el desarrollo de moléculas verdes, están preparadas para experimentar beneficios aún más pronunciados. Estas áreas están destinadas a convertirse en puntos calientes para la creación de empleo, atrayendo talento e inversión en tecnologías de moléculas verdes.

En un esfuerzo colaborativo entre ManpowerGroup y Moeve, un informe titulado⁶³ 'Moléculas Verdes: La Revolución Inminente del Mercado Laboral en Europa' profundiza en las repercusiones económicas y laborales de las moléculas verdes, abarcando biocombustibles 2G y derivados del hidrógeno verde, dentro de la Unión Europea. También analiza el impacto potencial en algunos estados miembros individuales, como España, Alemania, el Reino Unido, Francia y Portugal, entre otros.

Este informe subraya que el desarrollo y la inversión en moléculas verdes podrían generar entre 1,7 y 2 millones de nuevos empleos (empleo directo, indirecto e inducido) en la Unión Europea y el Reino Unido, promediando aproximadamente 100 mil empleos anualmente. De este aumento de empleo, más del 10% estaría directamente dentro del sector energético, mientras que alrededor del 40% sería indirecto, y otro 40% repercutiría en la cadena de valor en general. Notablemente, más de la mitad de estos nuevos empleos estarían vinculados al desarrollo de hidrógeno verde, con los biocombustibles representando aproximadamente el 40% de la creación total de empleos.

Figura 49 Impacto de las moléculas verdes en el crecimiento del empleo en Europa (miles de trabajos)

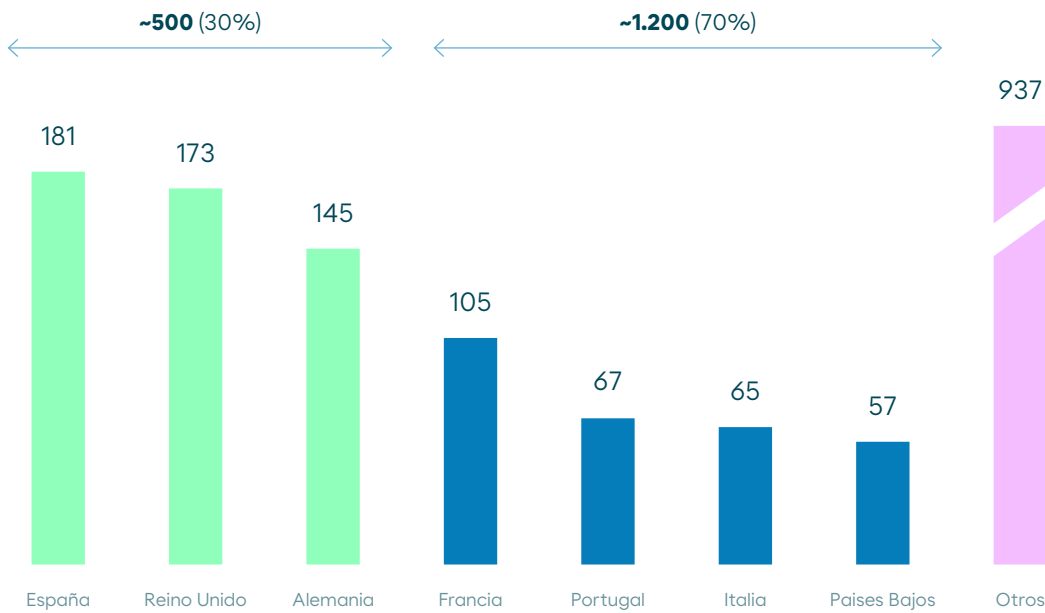


⁶³ "Green Molecules: The Imminent Labor Market Revolution in Europe", Moeve & ManpowerGroup



Al evaluar el impacto en la creación de empleo por países europeos, España emerge como el país con mayor potencial para generar empleos dentro de toda la Unión Europea, tanto a corto como a largo plazo, representando el 10% del empleo total, seguida por el Reino Unido, Alemania y Francia. Esto se atribuye a las condiciones favorables en el sur de Europa, particularmente en la península ibérica, para el desarrollo de moléculas verdes, tal como se detalla al inicio de esta sección.

Figura 50 Creación de empleo en 2040 (miles de empleos)



Fuentes: Manpower Group y Análisis Moeve

Este crecimiento del empleo también generará beneficios económicos sustanciales, con el potencial de aumentar el PIB (Producto Interno Bruto) de la región hasta en 145 mil millones de euros para 2040, lo que equivale a un incremento anual de 8,5 mil millones de euros. En España, el avance de las moléculas verdes podría añadir aproximadamente 15,6 mil millones de euros al PIB para 2040, elevando potencialmente el PIB español en un 1% en comparación con 2022.

Para estimar el impacto del desarrollo del hidrógeno verde en el empleo y el crecimiento económico en la Unión Europea, a lo largo del informe realizado por Manpower y Moeve, se han utilizado proyecciones del EHB⁶⁴ sobre la producción de hidrógeno verde. Estas proyecciones indican una producción esperada de aproximadamente 1.200-1.400 TWh de hidrógeno verde en la UE para 2040. Es importante señalar que estas proyecciones abarcan la producción del Reino Unido y excluyen posibles importaciones del norte de África u otros países no europeos.

⁶⁴ <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-Supply-corridor-presentation-Full-version.pdf>



Por lo tanto, la transición hacia una economía verde dentro de la Unión Europea presenta una oportunidad convincente para el crecimiento económico y la creación de empleo. Sin embargo, realizar esta visión también requiere inversiones sustanciales para alcanzar los objetivos de cero emisiones netas y descarbonizar efectivamente la economía. Como se destaca en los informes “New Energy Outlook: Europe” de BloombergNEF⁶⁵, en “Net-Zero Europe: Decarbonization pathways and socioeconomic implications” de McKinsey⁶⁶ y en “Road to Net Zero” del Instituto Rosseau⁶⁷, la transición de Europa a una economía de cero emisiones netas para 2050 requerirá más de 28-30 billones de euros en inversiones en energía y tecnologías relacionadas desde 2022 hasta 2050, de los cuales aproximadamente el 20%, es decir, unos 5 billones de euros, serían inversiones incrementales en comparación con un escenario sin acción climática, ya que los 23 billones de euros restantes provendrían de redirigir inversiones que habrían financiado tecnologías fósiles. Esta inversión es esencial para implementar fuentes de energía renovable, actualizar infraestructura y avanzar en tecnologías cruciales para reducir las emisiones de carbono. BloombergNEF también estima que las inversiones requeridas en el lado de la oferta de hidrógeno mostrarán una trayectoria ascendente constante a lo largo de los años, esperándose alrededor de 300-400 mil millones de euros en el período 2022-2050.



La transformación de Europa hacia una economía de cero emisiones netas exigirá inversiones adicionales de 5 billones de euros entre 2020 y 2050, un coste inferior al de la inacción.

⁶⁵ “Energy sector investment requirements in Europe under BNEF Net Zero Scenario”, BloombergNEF

⁶⁶ “Net-Zero Europe, Decarbonization pathways and socioeconomic implications”, McKinsey

⁶⁷ “Road to Net-Zero, Bridging the Green Investment Gap”, Institut Rousseau



4.4.

Contabilizando los costes: las consecuencias de no descarbonizar

La urgencia y necesidad de la descarbonización no pueden subestimarse, ya que es crucial para mitigar el aumento de las emisiones de GHG que de otro modo conducirían a temperaturas en aumento. No abordar este problema resultaría en consecuencias severas e irreversibles para nuestro futuro.

Según la IEA⁶⁸, si la infraestructura actual, incluidas las plantas de energía que se están construyendo actualmente, continúan operando según su histórico, resultaría en un aumento de temperatura a largo plazo de aproximadamente 1,65°C. Además, se proyecta que las emisiones de CO₂ entre 2020 y 2050 excederán las emisiones totales permitidas para limitar efectivamente el calentamiento global a 1,5°C en aproximadamente un 30%⁶⁹.

No obstante, incluso con el objetivo de limitar el calentamiento global a 1,5°C, la Tierra ya está experimentando aumentos de temperatura, lo que lleva a cambios significativos que se pueden mitigar, pero no eliminar. Estos cambios incluyen el aumento del nivel del mar, el deshielo, olas de calor, inundaciones y más. Los hallazgos de un informe del IPCC⁷⁰ sobre los impactos del cambio climático destacan que superar el umbral de 1,5°C resultaría en la ocurrencia de fenómenos extremos como tormentas severas, olas de calor intensas, sequías prolongadas, lluvias intensas, entre otros. Las consecuencias de tales cambios, incluida la escasez de agua y el desplazamiento o extinción de flora y fauna serían irreversibles.

En un estudio realizado por la Comisión Europea⁷¹, se evaluaron las consecuencias económicas del cambio climático, centrándose específicamente en el impacto del calentamiento global en la Unión Europea y el Reino Unido bajo tres escenarios de calentamiento: 1,5°C, 2,0°C y 3,0°C. El estudio reveló que a medida que las temperaturas aumentan, hay un fuerte incremento en la pérdida adicional de bienestar, lo que daña el stock de capital, afecta la producción económica e impacta el bienestar de los hogares. Si la economía actual se expone a un calentamiento global de 3°C, la pérdida anual de bienestar ascendería al menos a 54 mil millones de euros (equivalente al 0,43% del PIB). Bajo un escenario de 2°C, la pérdida adicional de bienestar sería de 18 mil millones de euros por año (0,14% del PIB), mientras que limitar el calentamiento a 1,5°C reduciría la pérdida adicional de bienestar a 6 mil millones de euros por año (0,05% del PIB). Estos hallazgos destacan las implicaciones económicas significativas de diferentes escenarios de calentamiento y la importancia de limitar el calentamiento global para mitigar las pérdidas de bienestar.

El estudio enfatiza que las pérdidas de bienestar en las regiones del sur son significativamente más altas en comparación con las regiones del norte. Esto subraya el papel crucial de España en el proceso de descarbonización y su apoyo para lograr los objetivos de cambio climático establecidos por la Unión Europea, ya que no cumplir con estos objetivos tendría un impacto negativo sustancial en la región.

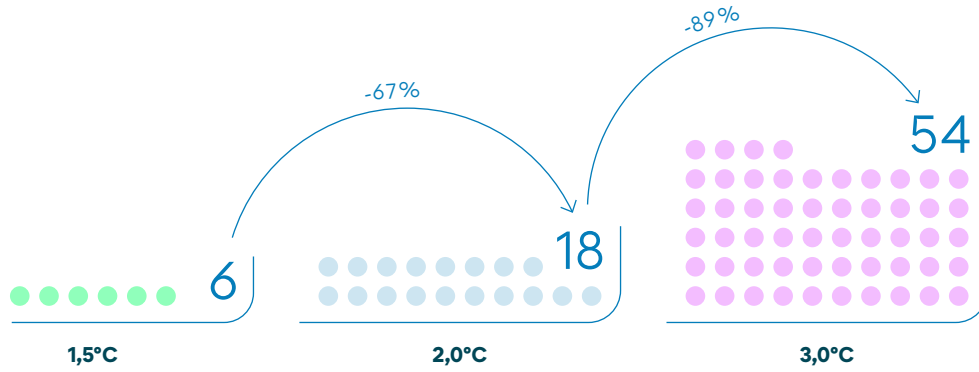
⁶⁸ "Security of Clean Energy Transitions", International Energy Agency

⁶⁹ "Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector", IEA

⁷⁰ Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability (IPCC)

⁷¹ "Climate change impacts and adaptation in Europe", European Commission JRC

Figura 51 Pérdida anual de bienestar por los impactos del cambio climático (€bn)



Impacto de la pérdida de bienestar sobre el PIB



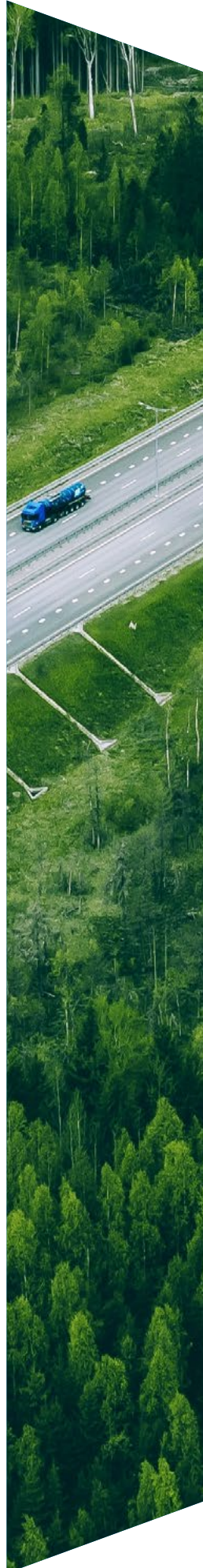
Fuentes: Comisión Europea y PESETA IV.

Además, se espera que el cambio climático actúe como un multiplicador de la pobreza, intensificando los niveles actuales. Se proyecta que el cambio climático por sí solo podría resultar en que 100 millones de personas adicionales caigan en la pobreza para 2030⁷². Este impacto se atribuye principalmente a los efectos adversos sobre la agricultura, lo que lleva a aumentos subsecuentes en los precios de los alimentos, conflictos derivados de recursos limitados, desplazamiento de poblaciones enteras y una reducción en la disponibilidad de agua limpia, entre otros factores. Estas consecuencias resaltan la necesidad urgente de abordar el cambio climático y sus implicaciones en los esfuerzos de erradicación de la pobreza.



Ignorar el cambio climático en Europa podría suponer pérdidas superiores a los 6 billones de euros durante los próximos 50 años, mientras que alcanzar los objetivos climáticos podría generar beneficios económicos de hasta 730 mil millones de euros.

⁷² "Climate Change and Development Series Managing the Impacts of Climate Change on Poverty", World Bank





Por último, basado en un informe realizado por Deloitte⁷³ en “The Turning Point”, se anticipa que el no abordar el cambio climático conducirá a una destrucción sustancial del PIB, alcanzando la asombrosa cifra de 178 billones de dólares a nivel mundial en los próximos 50 años en un escenario de aumento de la temperatura global de 3°C. Solo en Europa, se estima que la pérdida proyectada superará los 6 billones⁷⁴ de euros en ese mismo periodo, años con un riesgo potencial de 110 millones menos de empleos. Por el contrario, lograr los objetivos climáticos globales tiene el potencial de generar beneficios económicos significativos, con una estimación de 43 billones de dólares y 730 mil millones de euros en ganancias económicas a nivel global y en Europa, respectivamente.

Por lo tanto, el no descarbonizar la economía europea tendría consecuencias negativas no solo para el medioambiente y la salud pública, sino también desde una perspectiva económica. En contraste con la inversión adicional estimada de 5 billones⁷⁵ de euros necesaria para lograr la neutralidad climática para 2050, como se detalla en la sección 4,3 basada en el análisis de McKinsey⁷⁶ el impacto económico de no descarbonizar superaría la inversión requerida en un 10-20%, con más de 6 billones de euros en los próximos 50 años.

Además, como se mencionó anteriormente, la descarbonización serviría como un nuevo motor económico, contribuyendo con más de 730 mil millones de euros a las economías europeas. Esto indica que la inversión realizada hacia la descarbonización generaría un retorno positivo para las economías de los países europeos. Estos hallazgos subrayan la importancia de perseguir los esfuerzos de descarbonización tanto para la sostenibilidad ambiental como para la prosperidad económica.



Sin una acción climática decisiva, la UE corre el riesgo de enfrentar pérdidas de 6 billones de euros, superando con creces los 5 billones de euros necesarios para lograr la neutralidad de carbono para 2050.

⁷³ “The turning point: A global summary”, Deloitte

⁷⁴ “Valor Presente Neto”, PIB

⁷⁵ The additional investment required to achieve Net Zero refers to the incremental investment needed in comparison to a scenario where no climate action is taken

⁷⁶ “Net-Zero Europe, Decarbonization pathways and socioeconomic implications”, McKinsey

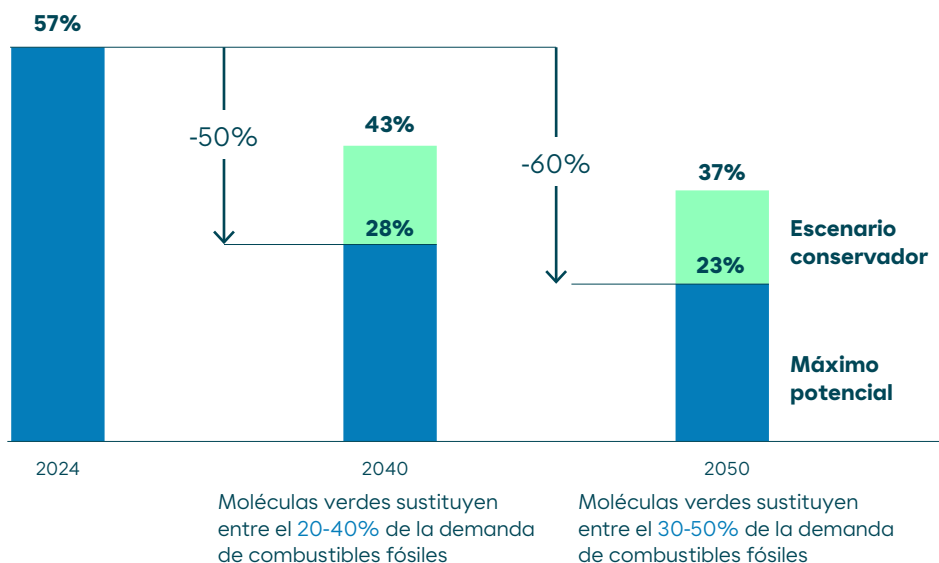
05

Moléculas verdes, el impulso de la estrategia europea

Las moléculas verdes representan la solución vital que permitirá a Europa cubrir las necesidades de seguridad de suministro actuales y futuras además de cumplir sus objetivos de transición energética, soberanía energética, reindustrialización y competitividad de la industria. Esta necesidad ha cobrado aún mayor relevancia a raíz de las recientes tensiones internacionales, motivando a Europa a consolidarse como un continente autónomo y reducir su dependencia de grandes potencias en un mundo cada vez más fragmentado.

Desde Moeve, nuestra visión es que para 2040 las moléculas verdes puedan llegar a sustituir aproximadamente entre un 20% y un 40% de la demanda actual de combustibles fósiles (mitad mediante biocombustibles 2G y mitad con hidrógeno), lo que permitiría que **únicamente con el consumo de moléculas verdes producidas en Europa se reduzca la dependencia energética exterior de la Unión Europea en un 50%**⁷⁷, hasta el 28%. De cara a 2050, esta sustitución podría alcanzar el 50% de la demanda de combustibles fósiles, lo que permitiría reducir el 60% de la dependencia energética exterior, reforzando así la estabilidad energética del continente.

Figura 52 Dependencia energética de la UE tras la implantación de moléculas verdes (% demanda total, 2024)



Nota: Este análisis no tiene en cuenta el impacto de la electrificación y parte de la base de que la implantación de las moléculas verdes se ajustará a los objetivos de descarbonización.
Fuentes: Eurostat y análisis de Moeve

Transformar la dependencia exterior y lograr la soberanía tecnológica requerirá la creación de plataformas que permitan el desarrollo completo de la cadena de valor de las moléculas verdes, especialmente, frente al creciente dominio chino en el mercado de energías renovables, donde Europa depende de materias primas del extranjero.

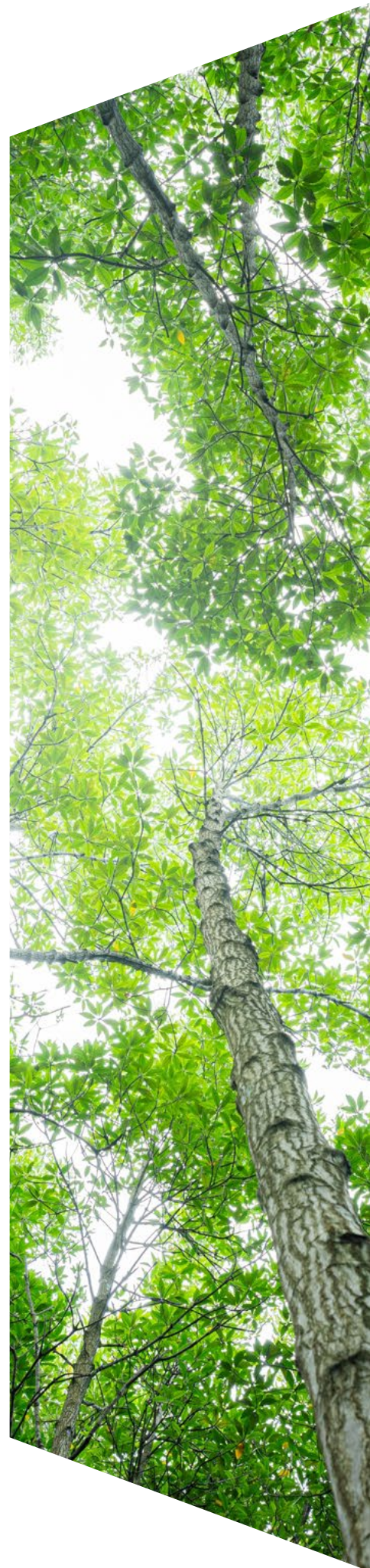
⁷⁷ Análisis Moeve basado en datos de Eurostat

“

A medida que se noten los impactos del cambio climático y la seguridad energética se vea comprometida, las soluciones verdes ganarán demanda, y en un mundo con cadenas de valor descarbonizadas, Europa puede ser un campeón global.

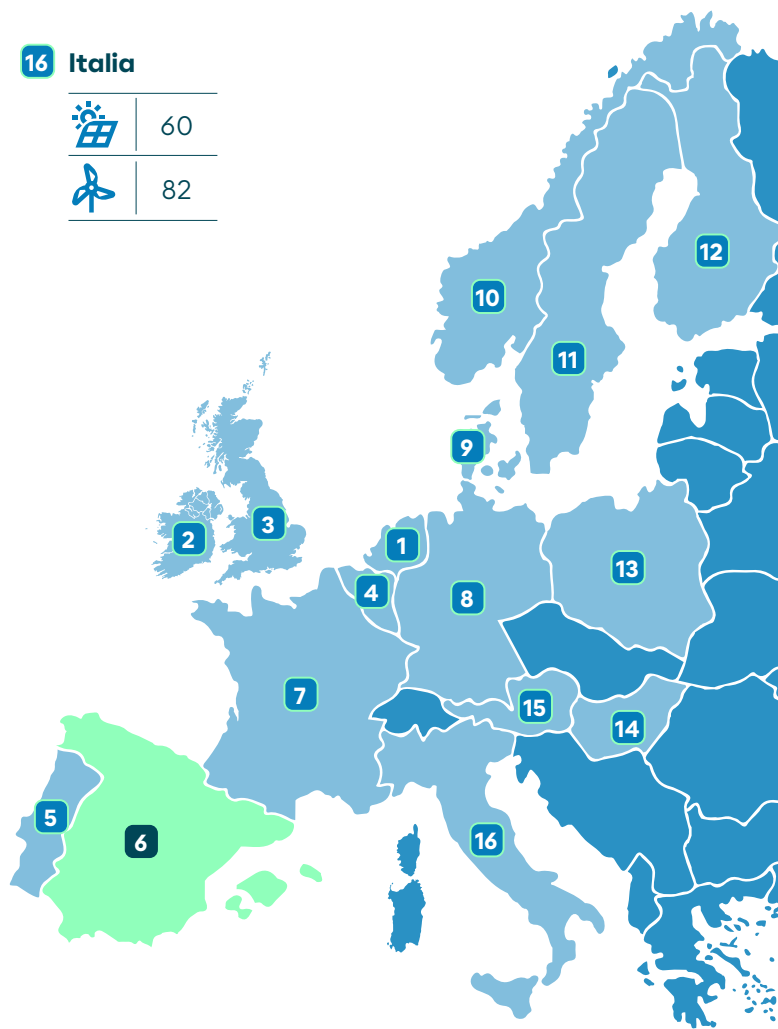
”

Maarten Wetselaar, CEO de Moeve



El desarrollo de moléculas verdes será protagonizado por el sur de Europa, aprovechando su elevada disponibilidad solar para la producción de moléculas verdes como el hidrógeno, el amoníaco o los combustibles sintéticos. Destaca aquí la Península Ibérica, y en particular España, como uno de los países europeos con mayor capacidad instalada de energía renovable y localizándose en una posición estratégica altamente interconectada que le permitirá ser líder europeo.

Figura 53 Comparativa de precios de PPAs de energía eólica y solar de Europa (€/MWh, 2024)



Fuentes: S&P Global Commodity insights

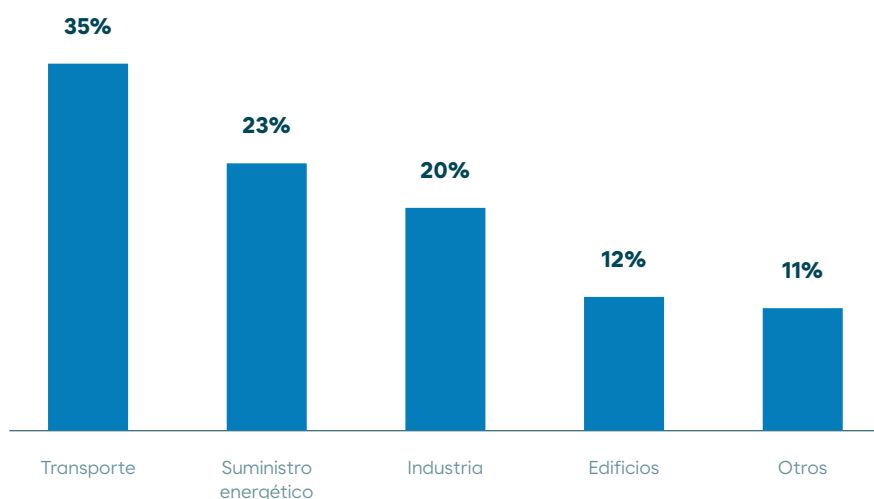
Europa necesitará apostar por la innovación y la fabricación interna de la tecnología necesaria para las moléculas verdes, ya que cuenta con la materia prima y los conocimientos necesarios que le permitirán satisfacer sus necesidades energéticas de forma autónoma, competitiva y sostenible. A su vez, el hidrógeno contribuirá a integrar una mayor penetración de renovables en el sistema eléctrico, aportando demanda y flexibilidad al sistema.

Estas circunstancias actuarán como catalizador, atrayendo industrias como la química y siderurgia, capaces de adoptar el hidrógeno y biocombustibles 2G como fuentes de energía limpia. Europa no podrá crecer ni adaptarse a este entorno en constante cambio sin una industria competitiva que se lo permita. La descarbonización y la seguridad energética deben convertirse en un motor de crecimiento para las industrias europeas, como recoge el Clean Industry Deal, lo que será especialmente relevante para sectores con alto consumo energético, que permitirán a Europa posicionarse como líder en la economía verde del futuro.

Las primeras industrias pioneras en el uso de moléculas verdes, causarán un efecto tractor que, según proyecciones de Moeve y ManpowerGroup⁷⁸, podría generar hasta **1,7 millones de nuevos empleos a nivel europeo**, siendo España el país europeo que liderará la creación de empleo con 181.000 empleos para 2040. El crecimiento del empleo vendrá ligado a la generación de beneficios económicos sustanciales, aumentando el PIB del área (Unión Europea y el Reino Unido) hasta 145 mil millones de euros para 2040, de los cuales 15.600 millones pertenecerá al crecimiento esperado en España.

Los principales actores que protagonizarán este crecimiento, y donde las moléculas verdes serán clave, son aquellos sectores de difícil electrificación, como la industria y el transporte, responsables del 55% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa en la actualidad. Así, la adopción de estos combustibles alternativos contribuirá inequívocamente a la descarbonización del continente, acercándonos a la meta de la neutralidad en carbono en 2050.

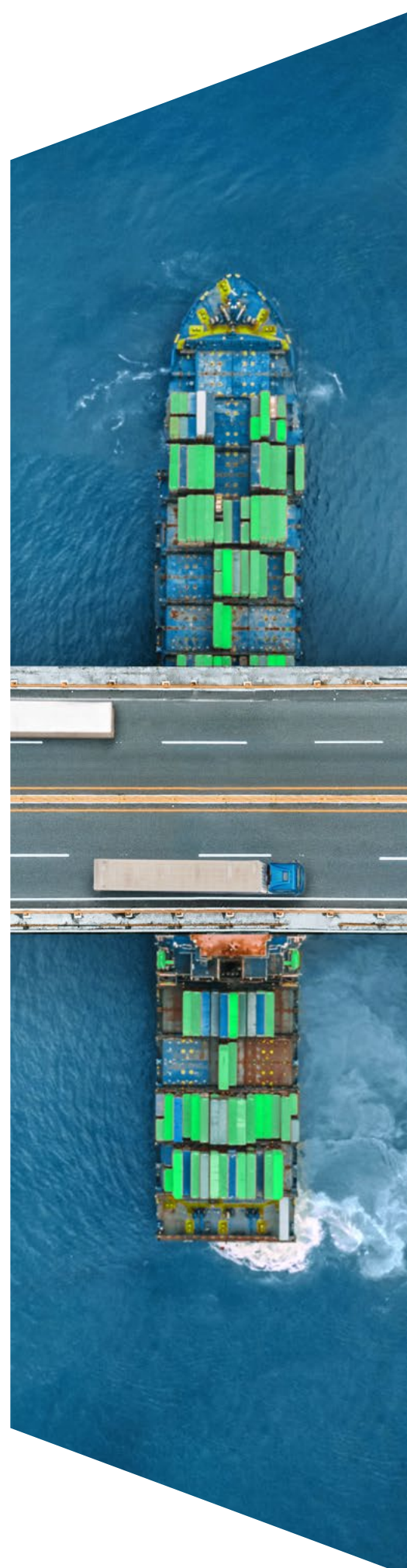
Figura 54 Sectores que más gases de efecto invernadero emiten en Europa (2024)



Fuentes: Agencia Europea de Medio Ambiente

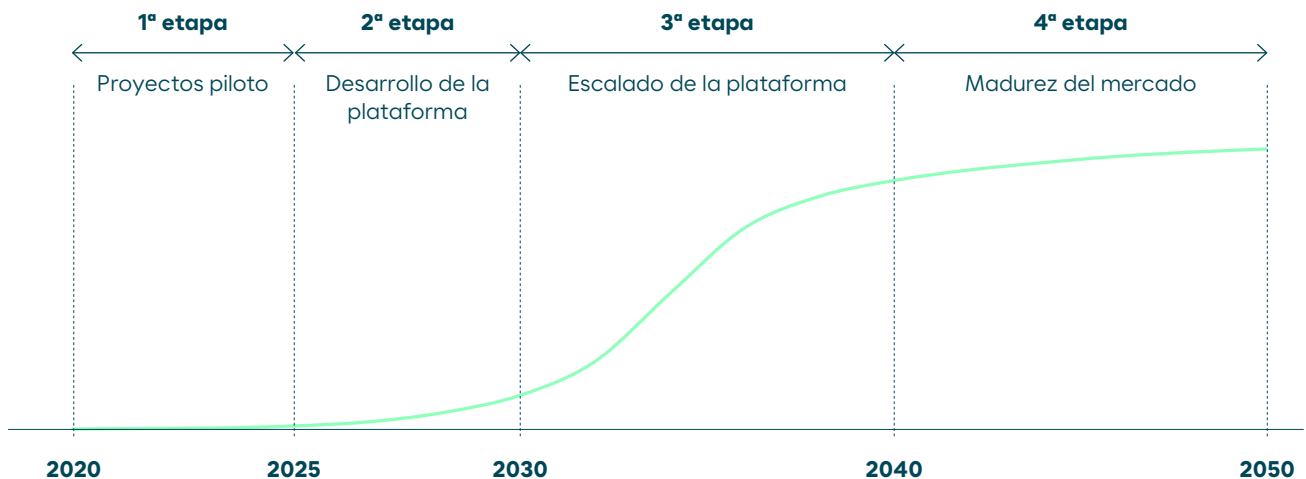
El transporte marítimo y el transporte aéreo son los sectores mejor posicionados para adoptar estas soluciones con un impacto mínimo en el precio final al consumidor. A modo de ejemplo, el transporte aéreo podría optar por el uso de SAF como combustible, ya que no requiere de modificaciones en los motores para su incorporación y consigue reducir las emisiones de CO₂ en un 90% en comparación a los combustibles tradicionales, mientras que el precio de los billetes únicamente aumentaría en 1 a 50 euros por vuelo.

Este sobrecoste, o green premium, requiere que los consumidores y las empresas estén dispuestos a asumirlo, para lo que será necesaria la creación de plataformas que permitan su desarrollo y la definición de estándares que otorguen a estas alternativas verdes diferenciación de cara al consumidor. Será fundamental concienciar a la sociedad de que el coste añadido de la adaptación a las moléculas verdes es inferior a no hacer nada, ya que serán aún mayores los costes derivados del impacto del cambio climático en la economía y la sociedad.

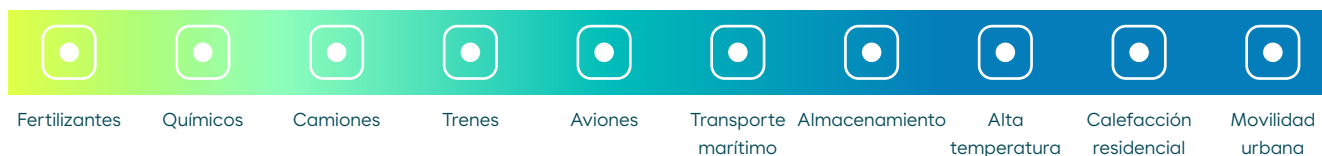


⁷⁸ 'Green Molecules: The Imminent Labor Market Revolution in Europe'. Para evaluar el impacto, se han utilizado las proyecciones de hidrógeno verde del EHB. Estas proyecciones anticipan un rango de producción de aproximadamente 1.200-1.400 TWh de hidrógeno verde para 2040, cubriendo la Unión Europea y el Reino Unido.

Figura 55 Evolución de la plataforma del hidrógeno y sectores que la protagonizan



Prioridad de adopción



Fuentes: Agencia Europea de Medio Ambiente

El camino hacia la creación de estas plataformas ya está en marcha, ya se están sentando las bases sobre las que se desarrollará el potencial de los combustibles verdes. En los últimos años, se han llevado a cabo proyectos piloto, de los que se ha obtenido un conocimiento más profundo sobre los retos y oportunidades del mercado de hidrógeno y su potencial. Esto nos coloca actualmente en la etapa de desarrollo de la plataforma, donde se están empezando a instalar las infraestructuras necesarias para la producción, el almacenamiento y la distribución de esta tecnología, que serán las bases sobre las que se apoyará el futuro escalado de la plataforma.

En este sentido, con el desarrollo de una plataforma europea del H2, Europa tiene la oportunidad de diseñar desde el principio un mercado competitivo e integrador del continente, promoviendo iniciativas innovadoras como el Valle Andaluz del Hidrógeno Verde, que producirá hasta 300.000 toneladas de hidrógeno verde al año y se conectará con el resto de Europa mediante el H2Med y la conexión Bar-Mar, el primer gran corredor de hidrógeno en Europa. La creación de alianzas como la del H2Med entre consumidores, tecnólogos y compañías energéticas será clave para fomentar que la infraestructura realmente salga adelante.

En los próximos años se necesitará establecer acuerdos comerciales y definir señales de precio en el mercado, consolidando el marco necesario para atraer inversiones y garantizar un suministro estable. Los avances en ingeniería y el diseño de sistemas más eficientes también serán protagonistas en esta fase, marcando un punto de inflexión para la expansión del hidrógeno.

Para este desarrollo, el papel de first movers como Moeve resulta decisivo, lo que nos ha llevado a invertir en lo que será el proyecto de hidrógeno verde más grande del sur de Europa. Aquellos que se posicionen en las primeras fases del desarrollo tendrán una ventaja estratégica significativa, actuando como verdaderos “market makers” capaces de modelar el mercado y facilitar el camino para que otros actores se sumen.

“

Es fundamental que esta década sienta las bases necesarias para construir una plataforma sólida que permita un despliegue acelerado del hidrógeno en la siguiente. Actuar ahora es clave para desarrollar la infraestructura necesaria para alcanzar la escala que se necesitará en el futuro.

”

Maarten Wetselaar, CEO de Moeve

Una vez consolidada la infraestructura, la demanda aumentará exponencialmente las inversiones y se fortalecerá la capacidad de producción, ubicando al hidrógeno como un vector energético fundamental en la transición energética. Finalmente, el mercado entrará en fase de madurez, los precios se irán estabilizando y la cadena de suministro global se consolidará hasta alcanzar su máxima capacidad en torno a 2050, permitiendo un acceso más fluido y una integración completa en el mix energético mundial.

No obstante, para alcanzar esa visión de una Europa verde y competitiva gracias a la implementación de un mercado de moléculas verdes desarrollado, **la regulación debe actuar como catalizador, ofreciendo un marco claro y estable que facilite la inversión y garantice una transición justa y competitiva.**

Por ello, en un momento en el que estas alternativas verdes aún no son plenamente competitivas, resulta clave actuar, en el corto plazo, mediante ayudas públicas con carácter transitorio que impulsen proyectos estratégicos con potencial de generar efectos tractoros sobre el conjunto de la economía, entre las que destacan:

- **Tarifas de electricidad armonizadas:** acceso prioritario a la red para electrolizadores, y corredores críticos como H2med que conectan los centros de producción del sur con la demanda continental para crear un verdadero mercado europeo del hidrógeno integrado.
- **Ayuda estatal estratégica:** colaboración público-privada audaz para desbloquear capital privado y acelerar el despliegue de proyectos transformadores a gran escala, como el proyecto Valle Andaluz del Hidrógeno Verde.
- **Políticas que incentiven:** no que obstaculicen, la innovación limpia y una dirección clara respaldada por un marco legal fuerte y estable con objetivos de descarbonización bien definidos.

Del medio a largo plazo se necesitará una regulación que estimule progresivamente al uso de estas tecnologías mediante objetivos específicos de reducción de emisiones y creando instrumentos que ayuden a mitigar el impacto del green premium.

Moeve, como first mover, representa la oportunidad que necesita Europa para impulsar su descarbonización, industria y seguridad de suministro, mediante el desarrollo de una plataforma de moléculas verdes que permita al continente alcanzar su visión de una Europa más integrada, más moderna, más independiente y más competitiva.



06

| Anexos



6.1.

Hipótesis de costes

La competitividad de los combustibles fósiles frente a los combustibles verdes depende de una serie de factores, siendo los principales impulsores de su competitividad el coste futuro de las emisiones de CO₂, los precios del Brent y del gas natural, junto con el LCOE, el CAPEX de los electrolizadores y el CCU.

Para evaluar la sensibilidad de la competitividad de los combustibles bajo diversas suposiciones de costes, se han analizado los escenarios descritos en el World Energy Outlook 2025 de la IEA como referencia principal. No obstante, para asegurar la solidez y precisión del análisis, se han revisado fuentes de prestigio como IRENA y el WEF, con el fin de corroborar y ajustar los escenarios planteados por la IEA, según sea necesario.

IEA escenarios	Políticas actuales		Políticas declaradas		Cero emisiones netas para 2050	
	2035	2050	2035	2050	2035	2050
Petróleo (USD/barril)	89	106	80	76	33	25
EU Gas Natural (USD/MBtu)	9,1	10,6	6,2	8,4	4,2	4,0
Coste del CO ₂ en economías avanzadas (USD/tCO ₂)	87	87	89	174	180	250
Solar PV – LCOE (USD/MWh)	35	30	35	30	35	30
Eólica onshore – LCOE (USD/MWh)	55	55	55	55	55	50
Eólica offshore – LCOE (USD/MWh)	50	40	50	40	45	35
Electrolizadores de hidrógeno (USD/kW)	440 – 1680	390 - 1460	420 - 1650	390 - 1450	330 - 1310	310 - 1180

Por otra parte, las hipótesis sobre CCUS se basan en otras fuentes del mercado como IRENA, WEF o el Centro Mærsk Mc-Kinney Møller, ya que la IEA no proporciona un pronóstico sobre estos precios.

CCUS (USD/tCO ₂)	2030	2050
Fuente puntual	119	71
Captura directa de aire	188	94



6.2.

Glosario

APS (Announced Pledges Scenarios)	ICE (Internal Combustion Engine)
ATAG (Air Transport Action Group)	IEA (International Energy Agency)
AtJ (Alcohol to Jet)	IMO (The International Maritime Organization)
BET (Battery Electric Trucks)	IRENA (International Renewable Energy Agency)
BF-BOF (Blast Furnace- Basic Oxygen Furnace)	LCOE (Levelized Costs of Electricity)
BOF (Conventional Blast Furnace)	LCOH (Levelized Cost of Hydrogen)
BP (British Petroleum)	LNG (Liquefied natural gas)
CAPEX (Capital Expenditure)	LPG (Liquefied petroleum gas)
CAT (Catenary Hybrid Truck)	LSFO (Low Sulphur Fuel Oil)
CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism)	MGO (Marine Gasoil)
CCU (Carbon Capture Usage)	MPP (Mission Possible Partnership)
CCUS (Carbon Capture Usage and Storage)	NECP or PNIEC (National Energy and Climate Plan)
COP30 (United Nations Climate Change 30th Conference)	NZE (Net Zero Emissions)
CSR (Corporate Social Responsibility)	O&M (Operation and Maintenance)
DAC (Direct Air Capture)	PS (Point Source)
DNV (Det Norske Veritas)	PtH (Power-to-Hydrogen)
DRI (Direct Reduction Iron Process)	PtL (Power-to-Liquid)
EAF (Electric Arc Furnace)	PV (Photovoltaic)
ECA (Emission Control Areas)	R&D (Research and development)
e-combustibles (electro combustibles)	RED III (Renewable Energy Directive)
EHB (European Hydrogen Backbone)	RFNBO (Renewable Fuels of Non-Biological Origin)
ETS (Emissions Trading System)	SAF (Sustainable Aviation Fuels)
EVs (Electric Vehicles)	SMR (Steam Methane Reforming)
FCT (Fuel Cell Trucks)	STEPS (Stated Policies Scenario)
FT (Fischer-Tropsch)	SYT (Synthetic fuel-powered Truck)
GDP (Gross Domestic Product)	TCO (Total Cost of Ownership)
GHG (Greenhouse gas)	TWh (Terawatt-hour)
GW (Gigawatt)	WEF (World Economic Forum)
GWel (Gigawatt of electrolysis)	WtW (Well-to-Wheel)
HDV (Heavy-Duty Vehicles)	
HEFA (Hydro processed Esters and Fatty Acids)	
ICAO (International Civil Aviation Organization)	

A lo largo del documento, los términos e-combustibles, RFNBO (combustibles renovables de origen no biológico), derivados del hidrógeno y combustibles sintéticos se utilizan indistintamente.



6.3.

Fuentes de datos

BloombergNEF (BNEF)

First Movers Coalition

International Air Transport Association (IATA)

International Council on Clean Transportation (ICCT)

Air Transport Action Group (ATAG)

International Energy Agency (IEA)

Mission Possible Partnership

Det Norske Veritas (DNV)

International Civil Aviation Organization (ICAO)

International Maritime Organization (IMO)

International Renewable Energy Association (IRENA)

Maersk McKinney Moller Center for Zero Carbon Shipping (MMM)

World Economic Forum (WEF)

EuroControl

Lloyd's Register Maritime Decarbonisation Hub

European Commission

Transport & Environment

Hydrogen Europe

ICF Climate Center

Fertilizers Europe

Imperial College London – Concawe

ManpowerGroup

European Environment Agency (EEA)

Goldman Sachs

Our World in Data

Hydrogen Council

European Hydrogen Backbone (EHB)

United Nations Climate Change

International Airlines Group (IAG)

moeve