ACADEMIA DE CIENCIAS SOCIALES Y DEL MEDIO AMBIENTE DE ANDALUCÍA

Transporte aéreo y sostenibilidad:
El hidrógeno como vía de solución

Discurso de ingreso del

Ilmo. Sr. D. Antonio Vázquez Romero

Sevilla 3 de febrero de 2025

ACADEMIA DE CIENCIAS SOCIALES Y DEL MEDIO AMBIENTE DE ANDALUCÍA

SALUDO Y AGRADECIMIENTOS

Excmo. Sr. Consejero de Presidencia, Interior, Diálogo Social y Simplificación Administrativa de la Junta de Andalucía

Excmo. Sr. Excmo. Sr. Consejero de Consejero de Industria, Energía y Minas de la Junta de Andalucía

Excmo. Sr. Consejero de Turismo y Andalucía Exterior de la Junta de Andalucía

Excmo. Sr. Teniente General de la Fuerza Terrestre en Sevilla

Excmo. Sr. Presidente de la Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía

Excmo. Sr. Presidente de la Cámara de Cuentas de Andalucía

Señoras y señores, distinguidos miembros de la Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía

Distinguidos representantes de las Fuerzas Armadas, de la Comunidad Universitaria y del Tejido Empresarial y Social de Andalucía

Queridos compañeros de Iberia, de H2B2, de la Universidad Loyola, de la Fundación FOCUS, del Instituto San Telmo, del Proyecto de Base Logística del Ejército de Tierra, del Consejo de Administración de la Empresa Pública para el Turismo y Deporte de Andalucía

Estimados colegas y amigos,

Es para mí un honor estar ante ustedes en este venerable recinto donde la tradición académica y el avance hacia el futuro se funden en el compromiso compartido con el progreso científico y la integridad ecológica.

Quiero expresar de antemano mi reconocimiento a la Academia por situarse en el centro del debate en esta conversación esencial sobre uno de los desafíos más apremiantes de nuestro tiempo y mi sincera gratitud a su presidente don Antonio Pascual por el privilegio que representa esta oportunidad de expresar mi punto de vista sobre la transición energética y la descarbonización de las actividades económicas.

Este privilegio se convierte en un lujo en cuanto el discurso de respuesta será pronunciado por don José Bogas, una de las personas que puede hablar con mayor autoridad de energía en nuestro país y por quien siento un profundo respeto profesional y personal. De las conclusiones de su discurso de ingreso, hace prácticamente un año, tomo el estribo en el que apoyar mi intervención de hoy: «Las compañías que no pongan en el centro la Sostenibilidad no tendrán futuro, y hablo de una sostenibilidad integral, que es la que hace converger y combina las cuestiones climáticas, económico-financieras, las inclusivas, las de igualdad, las de equidad, y las de veracidad, transparencia y confianza».

No soy ni ingeniero, ni técnico, ni científico, ni experto en energía. Lo que me dispongo a poner en común esta noche es la experiencia de más de 50 años de vida empresarial en los que, desde diferentes sectores de la economía, he realizado funciones de gestión encaminadas a lograr el crecimiento de empresas y personas. En concreto, comparto con gusto mi reflexión de los últimos veinte años en los que las circunstancias me han colocado en los dos lados de la mesa en materia de sostenibilidad. Por un lado, he vivido intensamente el reto de construir, en torno a Iberia y British Airways, un grupo de líneas aéreas capaz de sobrevivir y crecer transformando modelos de negocio obsoletos en referentes

de futuro; y por otro, aunque de manera esporádica, he tenido la oportunidad de acompañar durante un período breve de tiempo el intento de H2B2, una *start-up* con excelentes credenciales tecnológicas y operativas en el mundo del Hidrógeno Verde, de saltar de escala para asegurarse su futuro.

Aprovecho aquí para agradecer de corazón la inestimable ayuda de dos antiguos compañeros de equipo que son referencias de élite en sus respectivos campos: Teresa Parejo, Directora de Sostenibilidad de Iberia; y Javier Brey, CTO de H2B2 y Presidente de la Asociación Española del Hidrógeno. En ambos confluye la doble cualidad de excelentes profesionales y grandes académicos. Pacientemente han aportado y ordenado ideas y han validado conceptos de manera que de ellos son los aciertos y míos los posibles errores de esta exposición.

INTRODUCCIÓN

Mi discurso de hoy persigue un propósito múltiple. Por un lado, vamos a explorar cómo la aviación, tradicionalmente un sector intensivo en carbono, está innovando hacia un futuro más sostenible mediante los Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF por sus siglas en inglés). Por otro lado, veremos cómo el hidrógeno, el elemento más simple y abundante del universo, emerge como un pilar fundamental en una nueva economía energética más limpia, capaz de revolucionar no solo el transporte, sino también los sectores industriales y de generación de energía. Y, finalmente, trataremos de cómo ambos sectores se unen; primero, en una nueva generación de SAF, los SAF sintéticos; y luego, en la oportunidad de que el hidrógeno se convierta en un combustible para la aviación del futuro.

En el capítulo de conclusiones, me permitiré poner el foco sobre la torre de Babel que suponen las diferentes posturas

puestas de manifiesto con toda claridad en el desarrollo de los últimos acontecimientos. Siempre es bueno que las diferencias afloren, sobre todo si somos capaces de construir consensos sobre los puntos de encuentro.

En todo caso, nos encontramos en un punto de inflexión histórico que no permite postergar los objetivos que tenemos, en nuestro país y en nuestro entorno, de obtener seguridad energética a través de la creación de una infraestructura energética robusta y sostenible, que permita reforzar nuestra independencia energética promoviendo a su vez una economía más justa y resiliente.

CONTEXTO Y ANTECEDENTES

Introducción a la Crisis Climática y la Transición Energética

A modo de introito, debo aclarar que acometo la tarea de hablar de *sostenibilidad* desde el supuesto que José Luis Manzanares describía en su discurso de contestación a Rafael Miranda hace tres años: «aceptando los dictados de las tesis oficiales». Al mismo tiempo, mantengo la esperanza de que la polarización que se está produciendo en la actualidad desemboque en un punto de racionalidad y de compromiso que permita avanzar de manera consistente en este aspecto vital de nuestra época.

Es un hecho objetivo que el incremento de la temperatura media de la Tierra respecto a la época preindustrial ha superado en 2024 los 1.5ºC, saltando por encima del límite fijado por el Acuerdo de París, al tiempo que los fenómenos meteorológicos extremos como huracanes, sequías e inundaciones parecen volverse más frecuentes e intensos, afectando a comunidades en distintas regiones.

Las catástrofes más recientes subrayan la urgencia de adoptar medidas contundentes para adaptar las infraestructuras, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y preparar a las comunidades para enfrentar y gestionar las consecuencias del cambio climático.

Hemos definido como *transición energética* al proceso de cambio necesario para transitar de un sistema energético basado en combustibles fósiles a uno más sostenible y limpio, centrado en energías renovables y tecnologías de bajas emisiones de carbono. Este cambio no solo implica la adopción de fuentes de energía renovables como la solar, la eólica y la hidroeléctrica, sino también la implementación de medidas para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de energía.

Y también, y afortunadamente cada vez más, empezamos a hablar de *transición energética* como proceso que genera oportunidades en una nueva economía, como la creación de empleos verdes y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles importados, generando riqueza, cohesión social y fortaleciendo la seguridad energética de los países.

Evolución de las Políticas Energéticas y de Descarbonización

Históricamente, la dependencia de los combustibles fósiles ha sido el motor del desarrollo industrial y económico. Sin embargo, esta dependencia ha tenido un coste ambiental significativo.

El compromiso global con la lucha contra el cambio climático ha evolucionado significativamente desde la adopción del Protocolo de Kioto en 1997, que fue uno de los primeros esfuerzos internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. A partir de él, han ido surgiendo más iniciativas, destacando algunas como:

- Acuerdo de París (2015):

Firmado por 195 de las 198 partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), tiene como objetivo limitar el calentamiento global a muy por debajo de 2°C, preferiblemente a 1.5°C, en comparación con los niveles preindustriales.

- La Agenda 2030 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Firmado en 2015 por unanimidad por todos los Estados miembros de las NN.UU., define un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, fortaleciendo la paz universal.

- Pacto Verde Europeo y Ley de Transición Energética de España

Desarrollan el conjunto de iniciativas políticas y normativas en los niveles de la Unión Europea (UE) y de España respectivamente, para alcanzar el objetivo de hacer de Europa el primer continente climáticamente neutro para 2050.

Importancia de la Colaboración entre Industrias y Sectores

Ha quedado patente en todas estas iniciativas que la transición energética no puede lograrse de manera aislada y que requiere de una colaboración estrecha entre gobiernos, industrias y la sociedad civil. La industria de la aviación y la emergente industria del hidrógeno renovable son ejemplos

de sectores que deben trabajar conjuntamente para alcanzar los objetivos establecidos de descarbonización.

Datos y Estadísticas Relevantes

Vale la pena considerar algunos datos para ilustrar el contexto en el que nos movemos y definir la magnitud del desafío:

- Emisiones Globales de CO_2:

Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), las emisiones globales de CO_2 alcanzaron 37.4 miles de millones de toneladas en 2023, un aumento del 1% en comparación con el año anterior, cuando deberían haberse reducido.

- Proyecciones de Temperatura:

El Panel sobre Cambio Climático (IPCC) proyecta que, sin acciones significativas, las temperaturas globales podrían aumentar hasta 4.8°C para finales del siglo XXI, cuando el objetivo que se persigue es no superar los 1.5°C.

- Capacidad de Energía Renovable:

En 2023, la capacidad instalada global de energías renovables alcanzó aproximadamente 3 372 gigavatios (GW), lo que representa alrededor del 40% de la capacidad eléctrica total instalada a nivel mundial, con la energía solar y eólica liderando el crecimiento.

PARTE I: LA INDUSTRIA DE LA AVIACION

Es un hecho indiscutible que la aviación es un sector altamente dependiente de los combustibles fósiles. Para poder reducir (y en un futuro, eliminar completamente) dicha dependencia, es necesario definir una ambiciosa estrategia de mitigación compatible con el crecimiento del sector, estratégico para España, no solo para garantizar la interconexión del territorio, sino también, por su contribución al turismo y, por tanto, al desarrollo económico de nuestro país.

Además de la renovación de la flota y de la eficiencia de las operaciones, la aviación necesita el avance acelerado de tres tecnologías, que resultan claves para su descarbonización: la electrificación, el hidrógeno renovable y los combustibles sostenibles de aviación (SAF). De estas tres, siempre que la oferta disponible pueda satisfacer la demanda, los SAF constituyen la solución disponible más próxima para que el transporte aéreo cumpla con los objetivos de reducción de emisiones de la Unión Europea para 2030.

Mientras la electrificación empieza a desarrollarse para pequeños aviones y distancias de corto y medio radio, el hidrógeno renovable es una tecnología con un grado de madurez inicial (TRL) bajo en el ámbito de la aviación y no servirá para la descarbonización hasta el final de la próxima década, porque requiere de transformaciones significativas del diseño de las aeronaves y de las infraestructuras aeroportuarias.

¿Qué son los SAF?

Los combustibles sostenibles de aviación son combustibles sintéticos, producidos, bien a partir de productos orgánicos como biomasa, material vegetal o animal, bien a partir

de hidrógeno renovable y CO2 capturado. Estos combustibles son más sostenibles que el combustible convencional de origen fósil (queroseno empleado en los turborreactores) al que sustituyen dado que presentan una menor huella de carbono (entendida como emisiones de CO2 equivalentes). Los SAF se pueden emplear en aviones a reacción, estando certificados como sostenibles por entidades independientes como la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA).

El SAF presenta las mismas características fisicoquímicas que el combustible convencional de aviación, y es por ello que, a día de hoy, su uso es posible sin requerir ningún tipo de adaptación o modificación ni de la infraestructura de suministro en tierra ni de los motores de las aeronaves [1].

A pesar de ello, la normativa actual no permite realizar vuelos con 100% SAF, sino que debe mezclarse, en diversos grados, con el combustible convencional. La indicación de IATA es que, dependiendo de su tipo y origen, el SAF puede utilizarse en mayor o menor proporción, hasta un máximo de 50%. En todo caso, los fabricantes de aeronaves como Airbus y Boeing ya han anunciado diversas iniciativas para garantizar que sus aeronaves estarán certificadas y capacitadas para operar usando una mezcla del 100% de combustibles sostenibles en el año 2030.

Las pruebas realizadas en el sector han demostrado la viabilidad técnica de los SAF y que las únicas barreras que hay en la actualidad para su desarrollo son de naturaleza económica y regulatoria y, en el caso de los SAF biológicos, también de disponibilidad [2].

Tipos de SAF

Durante los últimos años, se han llevado a cabo diversas pruebas y estudios para optimizar la producción de SAF, explorando diferentes rutas tecnológicas para hacerlos más

eficientes y sostenibles. Estas iniciativas han involucrado tanto a instituciones académicas como a la industria, con el objetivo de mejorar la disponibilidad y viabilidad comercial de estos combustibles. Se han probado y certificado varios métodos de producción y se han desarrollado normativas para garantizar su seguridad y eficacia en aplicaciones de aviación.

La *American Society for Testing and Materials* (ASTM) ha certificado ya 7 tecnologías basadas en la norma D7566, y está trabajando en el desarrollo de otras (IATA *Fact Sheet* 2). Incluyen producciones de origen biológico, como aceites vegetales o de cocina usado, biomasa, levaduras modificadas, y otras sintéticas, como las que se generan a partir de la captura de CO2.

Podríamos resumir diciendo que, entre las diversas vías de producción de combustibles sostenibles para la aviación, la limitación de los SAF biológicos es la cantidad de materia prima, y la limitación en el caso de los SAF sintéticos es el coste.

Los criterios de sostenibilidad

El beneficio ambiental del SAF está en la consideración de la huella de carbono durante su ciclo de vida. El *United Nations Environment Programme*, UNEP, en un informe emitido en 1996 concluyó que, en el caso de *e-fuels* y dependiendo de la tecnología empleada, dicha huella puede ser entre un 60% y hasta un 100% menor que la de los combustibles tradicionales fósiles, lo que ayuda notablemente a la reducción de las emisiones de CO2 de la aviación.

Además, estos combustibles contienen menos impurezas y, por tanto, las emisiones de dióxido de azufre, metano y partículas también se reducen significativamente durante la fase de combustión en la turbina, mejorando también así el impacto ambiental directo de cada vuelo y la calidad del

aire en las ciudades en las que se ubican las infraestructuras aeroportuarias [3].

Garantía de competencia leal del mercado y prevención de fuga de carbono

Como ocurre en toda actividad regulada, el hecho de que los mandatos de SAF son regionales (no globales) genera efectos de distorsión de la competencia que no ayudan por el momento al desarrollo ordenado de un mercado para este tipo de combustible. El establecimiento de un mandato europeo, igual para todos los Estados Miembros, tal y como se plantea en el Reglamento europeo RefuelEU, no puede garantizar por su alcance el principio de competencia leal del mercado internacional. Para que eso fuera así, el mandato debería ser establecido con carácter global por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) facilitando que las reglas del juego sean para todos. Este concepto de *level playing field* es una vieja aspiración de la industria [4, 5].

El precio y disponibilidad en el mercado

Desde que comenzara a producirse en el año 2008, más de 490 000 vuelos han usado SAF mezclado con queroseno regular, sin necesidad de modificar motores o aviones. Y aunque la producción de SAF habrá superado los 1 900 millones de litros, ha representado solo el 0.53% del combustible que necesitó la aviación para 2024.

La escasez de oferta en el caso de los SAF biológicos o biocombustibles, el procedimiento de producción y los altos costes de transporte y distribución, mantienen los precios del SAF muy elevados, llegando incluso a ser hasta seis veces superior al precio del queroseno tradicional. A esto podría sumarse un nuevo desafío: la reciente victoria de Donald Trump en las elecciones de EE. UU. Una posible reorientación

priorizando los combustibles fósiles en lugar de tecnologías limpias podría impactar la competitividad y la adopción global de SAF.

Pese a todo ello, si se consiguen economías de escala y disminuye también el precio de la energía eléctrica de origen renovable, se espera que el precio baje (gracias a los *e-fuels*) a entre 1 y 3 euros por litro en 2050.

El SAF en el paquete *Fit For 55* de la Comisión Europea

El *Green Deal* de la Unión Europea establece para 2030 un objetivo de reducción de emisiones en al menos un 55% respecto de 1990 y afecta a todos los sectores económicos. En el caso de la aviación reconoce la necesidad de potenciar la producción de SAF a través del desarrollo de diversos instrumentos regulatorios que están siendo tramitados, como parte del paquete *Fit for 55*.

El SAF representa actualmente alrededor del 0.2% del consumo total de combustible de las aerolíneas (*SAF Deployment*, IATA 2023) y deberá llegar al 2% del consumo total de las aerolíneas en 2025. En este sentido, el Reglamento RefuelEU ya en vigor como parte del paquete de medidas *Fit for 55* prevé que será necesario poner en operación 14 nuevas plantas de producción. Esta regulación, al fin, parece que empieza a aportar claridad sobre las necesidades de producción de SAF hasta 2050 cuando el reglamento establece que el 70% del combustible de aviación utilizado en la UE deberá ser SAF.

El Reglamento ReFuelEU establece una obligación para los productores de combustible, fijando unos objetivos que incluyen una proporción creciente de combustibles sintéticos (*e-fuels*) a utilizar en todos los vuelos que despeguen de un

aeropuerto de la Unión Europea, comenzando ya este año, en el 2025, y escalando desde el 1.2% en 2030 hasta el 35% en 2050.

La nueva industria del SAF: una oportunidad histórica global

La UE lidera en innovación tecnológica y capacidad industrial la producción de SAF. Si se refuerzan las inversiones en esta tecnología, el continente no solo lograría cumplir con las metas de descarbonización, sino que también aseguraría una ventaja estratégica para la industria europea en un mercado global en expansión. Productores y distribuidores de combustible, aerolíneas, industria auxiliar y aeropuertos han asumido un papel activo en tratar de que esta ventaja se materialice.

En España, un estudio llevado a cabo por *Price Waterhouse Coopers* (PwC) en el año 2022 sobre el impacto socioeconómico del Grupo Iberia, muestra una contribución directa, indirecta e inducida a la economía española que alcanza los 9 300 millones de euros anuales (0.6% del PIB), y la generación de 160 000 puestos de trabajo (0.9% del empleo a nivel nacional).

El desarrollo de nueva y exigente regulación, no solo para garantizar la seguridad aérea siempre esencial, sino también para responder a los retos de sostenibilidad que establecen nuevos y exigentes requisitos para acelerar su transición ecológica, tanto en lo ambiental como en lo social, exige una visión transformadora que puede y debe verse como oportunidad.

En este sentido, PwC realizó un nuevo informe en junio de 2023 en el que se medía y valoraba el potencial de nuestro país para liderar la creación de la nueva industria del SAF en Europa concluyendo que la fuerza tractora del sector de la aviación, en colaboración con otras empresas y con el

apoyo de las Administraciones Públicas, tiene la capacidad para generar nuevas vías de riqueza para el país coherentes con modelos económicos más sostenibles, justos e inclusivos.

En efecto, España tiene todo lo que se necesita para encabezar la industria del SAF:

- Una enorme riqueza en residuos forestales, agrícolas y ganaderos, que son biomasa que se emplea para producir el SAF biológico.

- Una firme voluntad de encabezar la producción de hidrógeno renovable que, entre otras cosas, se utilizará para producir SAF sintético. Según el informe, la construcción y puesta en funcionamiento de las plantas de producción de SAF en España previstas hasta 2050 (entre 30 y 40, produciendo 5 millones de toneladas anuales para ese año) tendría un impacto en el PIB de 56 000 millones de euros, lo que se traduce en 270 000 nuevos puestos de trabajo.

En un nuevo informe presentado en septiembre de 2024, continuación del anterior, esta vez, de la mano de Iberia, Vueling, CEPSA y Bioplat, se detallaron las medidas que permitirían hacer realidad dicha oportunidad [6].

En Estados Unidos, la administración del presidente Biden anunció en septiembre de 2021 un ambicioso objetivo de producción de SAF para el año 2030 y en agosto de 2022, la *Inflation Reduction Act* (IRA), concretó importantes incentivos de crédito fiscal para distintos recursos energéticos renovables y se convirtió en el motor que comenzó a revolucionar el panorama fiscal y el ritmo de inversión en la transición energética de este país.

En septiembre de 2023, la presidenta de la Comisión reaccionó a la iniciativa de EE.UU. solicitando a los Gobiernos de los Estados Miembros que facilitasen la inversión pública para impulsar una transición sin precedentes en la Unión Eu-

ropea, simplificando las ayudas de Estado para energías renovables, procesos de descarbonización industrial o productos estratégicos en la transición como las baterías y las tecnologías de hidrógeno.

La llegada del presidente Trump a la presidencia de EE.UU. y las primeras medidas anunciadas, suponen una gran sombra de incertidumbre en las iniciativas de inversión mencionadas dentro y fuera de EE.UU. En todo caso, la Unión Europea no debe desperdiciar la ventaja comparativa que podría derivarse de la combinación de liderazgo tecnológico, regulación inteligente y acceso a los nuevos fondos internacionales provenientes de compromisos como el *Pacto de Unidad Climática* de Bakú (COP29) que pueden posicionar a Europa, y a España en particular, como epicentro de esta transición hacia una aviación sostenible [7].

En España, la revisión del Plan Integrado de Energía y Clima (PNIEC), aprobada en Consejo de ministros en septiembre de 2024, incrementa la ambición de descarbonización de nuestra economía, poniendo el foco en el refuerzo de la cadena de valor industrial y en la autonomía estratégica de España [8].

PARTE II: LA INDUSTRIA DEL HIDRÓGENO

Introducción al Hidrógeno como Vector Energético

El hidrógeno es un gas incoloro e inodoro que, cuando arde en presencia de oxígeno, produce únicamente agua como subproducto. Tiene una densidad energética alta por unidad de masa, lo que lo convierte en un combustible eficiente.

El hidrógeno *de origen fósil* (muchas veces denominado gris, marrón o negro), producido, por ejemplo, a partir de gas natural, se emplea como materia prima desde el siglo

pasado en industria química y refino, generando un mercado de 95 millones de toneladas anuales, equivalentes a 170 mil millones de dólares en 2023 [9].

Sin embargo, además de su uso tradicional como materia prima en la industria química y del petróleo, el hidrógeno puede utilizarse en el transporte, la generación de electricidad y como almacenamiento de energía renovable.

Es importante puntualizar que el hidrógeno es un *vector energético*, que ha de ser producido, para luego almacenarse, transportarse y/o utilizarse. Es decir, no es una fuente de energía, sino una manera de gestionarla.

El hidrógeno renovable, producido mediante electrólisis del agua alimentada por energía eléctrica de origen renovable, ha sido reconocido como un vector energético prometedor para la descarbonización de diversas industrias, entre ellas, la aviación [10]. Al ser el elemento más abundante en el universo, el hidrógeno ofrece una fuente casi ilimitada de energía limpia, siempre y cuando se produzca de manera sostenible.

Proceso de producción de Hidrógeno mediante electrólisis de agua, alimentada por Energías Renovables (EERR)

La producción de hidrógeno puede llevarse a cabo a través de varios métodos, pero, pensando en un futuro bajo en carbono, la electrólisis de agua alimentada por energía eléctrica de origen renovable es la más sostenible y prometedora [11].

- Electrólisis del Agua:

La electrólisis es un proceso electroquímico que divide el agua (H_2O) en oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2), mediante la aplicación de corriente eléctrica. Este proceso se lleva a

cabo utilizando electrolizadores, que son dispositivos específicos para esta finalidad.

- Tipos de Electrolizadores:

Existen varios tipos de electrolizadores, incluidos los alcalinos, los de membrana de intercambio de protones (PEM), los de membrana de intercambio aniónico (AEM), y los de óxido sólido (SOEC). Cada tipo tiene sus ventajas y desventajas en términos de eficiencia, coste o durabilidad.

- Alimentación mediante Energías Renovables:

Para garantizar que la producción de hidrógeno sea verdaderamente sostenible, la electricidad utilizada en el proceso de electrólisis debe provenir de fuentes renovables, como solar, eólica, hidroeléctrica o geotérmica. Este enfoque asegura que el hidrógeno producido sea *hidrógeno renovable*, es decir, producido sin emisiones de CO2.

Beneficios del Hidrógeno en la Descarbonización

El hidrógeno renovable, producido mediante electrólisis de agua alimentada mediante energía renovable, es una herramienta crucial en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero [12]. Al no producir emisiones de CO2 sino vapor de agua, puede reemplazar a los combustibles fósiles contribuyendo a alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono para 2050.

Aplicaciones del Hidrógeno Renovable

El hidrógeno renovable tiene el potencial de transformar múltiples industrias:

- Transporte y movilidad:

Ha sido ampliamente probado en aplicaciones de movilidad, tanto empleándolo para producir electricidad (en dispositivos denominados *pilas de combustible*) como quemándolo en motores y turbinas. En la actualidad, existen ya automóviles y autobuses comerciales, así como numerosos demostradores y prototipos de trenes, camiones y maquinaria pesada funcionando con hidrógeno. El hidrógeno se contempla también como un combustible alternativo para descarbonizar el transporte marítimo.

En la aviación, los motores y turbinas a hidrógeno y las pilas de combustible ofrecen una alternativa a los combustibles fósiles para la propulsión (y suministro de energía auxiliar) de aeronaves. Airbus, por ejemplo, está desarrollando aviones propulsados por hidrógeno con el objetivo de tener prototipos operativos para 2035 [11].

- Generación de Energía:

Empleado en pilas de combustible, o en motores y turbinas, puede proporcionar energía limpia y fiable, complementando la intermitencia de las energías renovables como la solar y la eólica. Es la manera más eficiente, tanto desde un punto de vista técnico como económico, para almacenar una gran cantidad de energía durante un largo tiempo (almacenamiento estacional de energía). Se convierte así en un aliado de las energías renovables, facilitando su gestión a largo plazo y a gran escala.

- Materia prima en Industria Química y Petroquímica:

El hidrógeno es una materia prima esencial en la producción de amoníaco y otros productos químicos, como el metanol; se emplea también en refino para la producción de

combustibles comerciales (en el proceso de hidrotratamiento, donde se utiliza para eliminar impurezas del crudo y mejorar la calidad del producto final, como la gasolina y el diésel). La transición al hidrógeno renovable puede descarbonizar estos procesos industriales [13].

- Combustible en la industria y el sector residencial:

Puede ser una alternativa al gas natural, al propano y al butano, permitiendo el uso de una alternativa sin carbono, limpia y capaz de alcanzar altas temperaturas si es necesario. Por ejemplo, en la industria del acero se emplea como un agente reductor sin carbono sustituyendo al carbón de coque y reduciendo las emisiones de CO2; en la industria del cemento, el hidrógeno puede servir como fuente de calor en los hornos de calcinación ayudando así a reducir significativamente las emisiones de carbono.

Desafíos y limitaciones del Hidrógeno

- Costes de Producción:

El principal desafío para la adopción masiva del hidrógeno renovable es su coste de producción. [11, 12]

- Energía Renovable

La electrólisis requiere, como es obvio, electricidad para funcionar. Aunque el coste de las energías renovables ha disminuido de manera importante en la última década, sigue siendo un factor crucial en el coste final del hidrógeno renovable, llegando a suponer hasta un 70% a 85% de dicha cifra.

- Escala y Tecnología:

La producción de hidrógeno renovable a gran escala aún está en sus primeras etapas. La inversión en tecnología y la creación de economías de escala requiere de un amplio despliegue de fábricas y de proyectos de mayor tamaño para reducir los costes.

Merece la pena destacar en este punto que el *blending* de hidrógeno en la red de gas natural, aparte de reducir las emisiones de CO2 y la dependencia energética de España y de Europa, lograría crear ese mercado a gran escala para el hidrógeno necesario para abaratar su coste. Resulta inexplicable que esta alternativa que permitiría saltar de escala a gran velocidad sin grandes adaptaciones en la estructura de almacenamiento y distribución, no se esté explorando con mayor intensidad.

- Infraestructura Necesaria

El desarrollo de una infraestructura de transporte y distribución robusta es fundamental para la adopción del hidrógeno

- Producción y Almacenamiento:

Se necesitan instalaciones de producción de hidrógeno renovable, así como infraestructuras para su almacenamiento a gran escala (almacenamiento estacional de energía). Esto permitirá poder emplear el hidrógeno renovable como sistema de gestión de energía, y disponer de él todo el año.

- Transporte y Distribución:

La creación de redes de transporte y distribución como tuberías específicas para hidrógeno y puertos de embarque

y desembarque, así como el despliegue de estaciones de repostaje como combustible, es vital. Actualmente, la infraestructura es limitada, lo que restringe la disponibilidad y el acceso al hidrógeno.

- Normativas y Estándares:

Es necesario establecer normativas y estándares internacionales para la producción, manejo, transporte y uso del hidrógeno renovable, asegurando su seguridad y eficiencia.

- Tecnologías Emergentes y Desarrollo Futuro

El futuro del hidrógeno renovable, como vector energético, está ligado a la innovación tecnológica.

- Mejora de la Electrólisis:

La investigación en nuevos materiales y tecnologías de electrolizadores, puede aumentar la eficiencia y reducir los costes de producción. Así mismo, se trabaja en alargar la vida de estos equipos, y en hacerlos más modulares y compactos.

- Almacenamiento Avanzado:

El desarrollo de tecnologías avanzadas de almacenamiento puede mejorar la densidad energética y la seguridad del almacenamiento de hidrógeno.

- Densidad volumétrica del hidrógeno

La densidad volumétrica del hidrógeno es uno de los desafíos clave en su aplicación como combustible para aeronaves, especialmente en vuelos de larga duración. El hidró-

geno, en su forma natural, es un gas con baja densidad energética por volumen, lo que implica que se necesita un volumen mayor para almacenar la misma cantidad de energía en comparación con los combustibles fósiles tradicionales. Este reto es aún más significativo en la aviación, donde el espacio y el peso son factores críticos.

Para superar este desafío, el hidrógeno puede ser almacenado en forma líquida, lo que incrementa su densidad energética por volumen. El hidrógeno líquido (LH2) se almacena a temperaturas extremadamente bajas, próximas a los -250°C, lo que requiere de tecnologías avanzadas de criogenia y materiales especializados para mantener estas temperaturas y evitar la evaporación.

Además, el uso de hidrógeno líquido en aeronaves podría requerir una reconfiguración significativa de los depósitos de combustible y otros sistemas asociados. Las aeronaves necesitarían depósitos más grandes y posiblemente diferentes configuraciones estructurales para acomodar el mayor volumen necesario.

- Acceso a financiación

Al tratarse de una tecnología emergente, empresas y proyectos encuentran dificultad a la hora de financiar sus desarrollos; esto es especialmente notorio e incisivo en empresas pequeñas, tecnológicas, que constituyen el eje vertebral de nuestra economía. Se necesita financiación y una apuesta económica decidida, especialmente si se quiere buscar una independencia energética que no se base en importaciones de otros países.

Estado de las tecnologías del hidrógeno en España

La estrategia nacional está claramente definida en la Hoja de Ruta del Hidrógeno 2020 [14] y el PERTE del Hidrógeno Renovable [15], establecidos para impulsar este vector energético como un pilar fundamental de la descarbonización y la seguridad energética del país.

La Hoja de Ruta del Hidrógeno, aprobada en octubre de 2020, fijaba objetivos para el desarrollo de esta tecnología. Establecía alcanzar una capacidad de 4 gigavatios (GW) de electrolizadores instalados para 2030, y otros como un 25% del consumo de hidrógeno en la industria renovable para el mismo año y la creación de una red de al menos 100 estaciones de servicio de hidrógeno en nuestro país.

El PERTE de Energías Renovables, Almacenamiento Energético e Hidrógeno Renovable, lanzado en 2021, se centra en movilizar inversiones y recursos para acelerar el desarrollo y la adopción de tecnologías de hidrógeno renovable en España. Este PERTE busca fomentar la colaboración público-privada, promover la investigación y el desarrollo tecnológico, y garantizar el despliegue de infraestructuras necesarias para la producción y distribución del hidrógeno renovable.

Finalmente, el borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2023 [16] aumenta el objetivo de capacidad de electrolizadores instalados para 2030 hasta los 11 GW. Este plan reafirma el compromiso de España con la transición energética y la reducción de emisiones, alineándose con los paquetes *Fit for 55* [17] y REPowerEU de la Unión Europea.

En nuestro país, la Asociación Española del Hidrógeno (AeH2) juega un papel crucial en la promoción y desarrollo del hidrógeno en España. Fundada en 2002, esta asociación reúne a empresas, instituciones y expertos del sector con el objetivo de fomentar la investigación, el desarrollo tecnológico y la implementación del hidrógeno como vector energético. La AeH2 trabaja en estrecha colaboración con el go-

bierno y otras entidades para desarrollar políticas y estrategias que impulsen el crecimiento de esta industria emergente.

Se parte de la base de que España cuenta con ventajas competitivas significativas para liderar la industria del hidrógeno renovable: La abundancia de recursos renovables unida a una ubicación geográfica que facilita la exportación de hidrógeno renovable y la integración en el mercado energético europeo, unidas a una infraestructura industrial robusta y una red de investigación y desarrollo bien establecida.

El país ya alberga varios proyectos pioneros en hidrógeno, como los valles de hidrógeno, que se están desarrollando como centros de producción y consumo de hidrógeno renovable. Estos clústeres industriales están destinados a ser motores de innovación y crecimiento económico, atrayendo inversiones y creando empleo.

Un ejemplo del desarrollo industrial y tecnológico de nuestro país lo encontramos en la empresa H2B2, empresa con la que he estado vinculado por un breve período de tiempo. Nacida en Dos Hermanas, esta empresa, andaluza y española, ha exportado equipos a países como Estados Unidos, Alemania, Emiratos Árabes Unidos, Colombia o India, y ha sido seleccionada dentro del IPCEI (*Important Project of Common European Interest*) *Hy2Tech* de la UE, para el desarrollo de tecnología y capacidad industrial en el ámbito de la electrólisis. Esta empresa también ha desarrollado una planta denominada SoHyCal que está ya en producción surtiendo diariamente hidrógeno a los autobuses de California aprovechando que la *Inlation Reduction Act* (IRA) creó el marco adecuado para desarrollar una regulación que hace económicamente viables los proyectos de Hidrógeno [18].

El Informe sobre el Estado de la Energía de la Unión Europea 2024, más conocido como *Informe Draghi* [19], además de encender la alerta sobre los niveles de inversión necesarios, ataca de frente el fuerte problema de competitividad de Europa y su dependencia energética estructural,

llama la atención sobre la energía nuclear y destaca el rol que va a desempeñar el hidrógeno en la transición verde dando una gran relevancia al concepto de *Valles de Hidrógeno* como motores del crecimiento en las regiones.

CONVERGENCIA DE LAS DOS INDUSTRIAS. SOLUCIONES INTEGRADAS

Sinergias entre la Aviación y el Hidrógeno

El hidrógeno y la aviación, dos sectores inicialmente distintos, están convergiendo de manera significativa debido a la presión global para descarbonizar la economía. La aviación es responsable de aproximadamente el 2.5% de las emisiones globales de CO2, mientras que el hidrógeno renovable se presenta como una solución potencial para reducir estas emisiones de manera sustancial [20].

- Propulsión a Hidrógeno:

El hidrógeno puede utilizarse tanto en pilas de combustible como en combustión directa en motores o turbinas adaptados. Las pilas de combustible convierten el hidrógeno en electricidad para alimentar motores eléctricos, mientras que los motores de combustión o las turbinas de hidrógeno queman el gas directamente para generar propulsión. Ambas tecnologías ofrecen vías para reducir las emisiones de CO2 en vuelos comerciales [21].

- Sostenibilidad de los Combustibles:

El desarrollo de combustibles sostenibles de aviación (SAF) también puede beneficiarse del hidrógeno. Los SAF biológicos pueden requerir de un pequeño aporte de H2 renovable para su producción. Los SAF sintéticos se producen a partir de hidrógeno renovable y dióxido de carbono (CO2)

capturado, resultando en un combustible con una huella de carbono significativamente menor, o incluso nula.

Proyectos Conjuntos y Colaboraciones Intersectoriales

La integración de hidrógeno en la aviación requiere una colaboración estrecha entre las industrias energética y aeronáutica, así como el apoyo y soporte gubernamental y académico. Los acuerdos de la COP29 incluyen partidas específicas para la investigación y el desarrollo de tecnologías que integren hidrógeno en la aviación, subrayando la importancia de alianzas internacionales para garantizar su sostenibilidad y viabilidad económica. Este respaldo financiero global ofrece una oportunidad sin precedentes para acelerar proyectos que ya están en marcha y fomentar nuevas iniciativas en el sector.

A modo de ejemplos representativos, señalo algunos proyectos conjuntos y colaboraciones destacadas:

- Proyecto ZEROe de Airbus:

Airbus ha lanzado el proyecto ZEROe, que tiene como objetivo desarrollar el primer avión comercial de cero emisiones para 2035. Este proyecto incluye el desarrollo de tres conceptos de aviones propulsados por hidrógeno, cada uno con diferentes configuraciones tecnológicas para evaluar su viabilidad y eficiencia:

  - Propulsado mediante turboventilador, con una capacidad de entre 120 y 200 pasajeros, y alcance de más de 2.000 millas náuticas.
  - Propulsado mediante turbohélice, con capacidad para 100 pasajeros y rango de 1.000 millas náuticas.

- Con configuración de ala mixta o *integrada al fuselaje*, con una capacidad de 200 pasajeros, y una mayor amplitud, que permitirá mayor autonomía.

El proyecto ZEROe no solo se centra en la propulsión por hidrógeno, sino también en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento criogénico para mantener el hidrógeno a temperaturas extremadamente bajas (253°C bajo cero), lo cual es crucial para su uso eficiente y seguro en aviación. Airbus está colaborando con empresas como ArianeGroup para construir las primeras instalaciones de repostaje de hidrógeno líquido en el aeropuerto de Toulouse, que estarán operativas para 2025.

- HyFlyer Project:

Este proyecto, liderado por ZeroAvia y financiado por el gobierno del Reino Unido, está desarrollando y demostrando la viabilidad de un avión eléctrico-hidrógeno. HyFlyer II pretende demostrar vuelos comerciales utilizando hidrógeno como principal fuente de energía.

Durante su desarrollo, de diciembre de 2020 a noviembre de 2023, el proyecto creó cientos de empleos, ha atraído inversión extranjera y ha generado avances pioneros a nivel mundial. En Kemble, Reino Unido, en enero de 2023, ZeroAvia presentó el primer vuelo de una aeronave de pruebas Do228 de 19 asientos y dos motores, adaptada con tecnología de hidrógeno-eléctrica.

En octubre de 2024, ZeroAvia anunció que el proyecto fue seleccionado como *proyecto del año* por el *Aerospace Technology Institute* (ATI) del Reino Unido.

- H2Fly:

Se trata de una empresa que desarrolla tecnología de pilas de combustible para aviación. H2Fly ha desarrollado el HY4, un avión de cuatro plazas propulsado por hidrógeno, que ha realizado exitosos vuelos de prueba. Este proyecto demuestra la viabilidad de la propulsión a hidrógeno para vuelos cortos y de mediana distancia.

- Empresas como Boeing y Rolls-Royce también están explorando conjuntamente tecnologías de propulsión a hidrógeno.

- Finalmente, en el caso de España, la Alianza para el Uso del Hidrógeno Verde en Aviación (AH2A) es una iniciativa reciente que busca impulsar la descarbonización del sector aéreo mediante el hidrógeno renovable. Creada con el respaldo de 11 instituciones y empresas del sector, como el Ministerio de Transportes, Aena, y la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, la AH2A tiene como objetivos principales determinar las necesidades de desarrollo, producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno renovable, así como promover la investigación y desarrollo de soluciones innovadoras.

En una visión resumida, podemos insistir en la idea de que, en el corto plazo, el SAF, tanto biológico como sintético, ofrece una solución clara para descarbonizar de manera sostenible el sector de la aviación. Sin embargo, a medio y largo plazo, el hidrógeno (especialmente el líquido) ofrece múltiples oportunidades para innovaciones tecnológicas y el desarrollo de un futuro sostenible en ese sector [20].

RESUMEN

Hemos explorado en detalle la situación actual de la crisis climática y la necesidad imperiosa de una transición energética que permita la descarbonización de sectores críticos como la aviación, gracias a alternativas como los SAF o el hidrógeno.

En la primera parte, discutimos los desafíos y avances de la industria de la aviación, destacando el papel crucial de los combustibles sostenibles de aviación (SAF) en la reducción de emisiones de CO2. La implementación de SAF, aunque prometedora, enfrenta retos significativos en términos de disponibilidad, infraestructuras y coste que requieren de la colaboración entre la industria y los gobiernos para superarlos.

En la segunda parte, examinamos el papel del hidrógeno renovable como vector energético en la transición hacia una economía descarbonizada. El hidrógeno, producido mediante electrólisis de agua alimentada por electricidad de origen renovable, presenta un gran potencial para reducir las emisiones en diversos sectores, incluida la aviación. Mientras las tecnologías emergentes y las inversiones en investigación y desarrollo están avanzando rápidamente, continúan siendo las grandes barreras para el desarrollo de este vector los desafíos relacionados con los elevados costes de producción, la infraestructura necesaria para su transporte y distribución y la regulación.

El sector aéreo se encuentra en un momento clave por tener que afrontar un proceso acelerado de descarbonización, sin disponer de manera masiva de las tecnologías que faciliten la transición en el tiempo indicado por la ciencia para evitar los efectos más severos del cambio climático. A pesar

de las dificultades, el sector ha asumido el reto y se ha comprometido a cumplir con el objetivo de neutralidad climática en el año 2050 y, por tanto, de responsabilidad con el bienestar de la sociedad actual y protección de las generaciones futuras.

De manera similar, la industria del hidrógeno está llamada a jugar un papel crucial en la transición energética. Las sinergias entre la aviación y el hidrógeno pueden crear soluciones integradas que impulsen la sostenibilidad en ambos sectores. Los proyectos conjuntos y las colaboraciones intersectoriales están comenzando a materializarse, ofreciendo innovaciones y oportunidades para un futuro sostenible.

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

Con independencia de posturas científicas, académicas, intelectuales o políticas, el cambio climático es una realidad cuyo enfoque depende en gran medida de la posición desde la que se analiza, de los intereses de los múltiples agentes que intervienen en el mismo y de la necesidad que los diferentes países, empresas y sociedades tienen de combinar la competitividad de sus economías con un nivel adecuado de dependencia y seguridad en los suministros.

Este acto de ingreso en la Academia debería haberse celebrado el pasado cuatro de noviembre. El desastre de la DANA en Valencia ocurrió una semana antes. Desde entonces, en el corto espacio de tres meses transcurrido hasta el día de hoy, el mundo parece haberse transformado.

Los compromisos adquiridos en la COP29, celebrada en Bakú, ofrecen la oportunidad para impulsar las alternativas sostenibles. El *Pacto de Unidad Climática de Bakú* destina financiación significativa a proyectos de descarbonización global, incluyendo tecnologías basadas en hidrógeno y SAF. Este respaldo internacional subraya la necesidad de una co-

laboración global para garantizar un futuro sostenible y reforzará la viabilidad de las iniciativas actuales si la financiación llega a materializarse.

El reciente cambio en Oriente Medio, tras la caída del régimen sirio y el más reciente alto el fuego en Gaza, son eventos recientes cuyos desenlaces nos seguirán mostrando que la volatilidad en la geopolítica mundial se traduce con carácter inmediato en volatilidad en los precios de los combustibles fósiles. La necesidad de reducir la dependencia de mercados energéticos inestables refuerza el papel estratégico de la utilización de fuentes alternativas de energía, como el hidrógeno renovable, como vector de seguridad energética de Europa.

La llegada de Donald Trump a la Casa Blanca está originando que la polarización latente en las distintas posiciones relativas a la transición energética aflore con toda su intensidad originando un cambio de rumbo en las políticas climáticas de su gobierno. La salida de EE.UU. del Acuerdo de París, la declaración de *emergencia climática nacional* y su lema *drill, baby, drill* consolidan su apuesta por los combustibles fósiles y su plan de revertir el progreso de Estados Unidos en materia climática. Este escenario añade incertidumbre al ritmo de la transición energética global, especialmente en lo referente al apoyo gubernamental a tecnologías sostenibles.

Por su parte, China, que no está sometida ni en tiempos ni en escrutinio al corsé impuesto por las democracias liberales, cuenta con la determinación, los recursos y la capacidad de planificación necesarios para conseguir la gran meta de que la energía necesaria para su desarrollo proceda de fuentes ya existentes en China. De igual manera, India que ve en la transición energética su gran esperanza de autonomía, ha convertido el reto en una cuestión de estado.

La Unión Europea está comenzando una nueva legislatura, no exenta de amenazas al proceso de integración, con los retos globales de acometer las transformaciones digital y

energética y los retos particulares de redefinir sus estructuras de seguridad y defensa al tiempo que pone en marcha una auténtica política industrial europea que resuelva los problemas estructurales de competitividad y dependencia. En una parte importante, la competitividad de Europa depende de que los precios de la energía vuelvan a ser bajos y estables y asume que la energía limpia es la respuesta a medio plazo porque es barata, crea buenos puestos de trabajo y refuerza nuestra independencia energética.

Informes como los de Enrico Letta y Mario Draghi ponen sobre la mesa reflexiones y propuestas llenas de sentido para los próximos años al tiempo en que nacionalismos y populismos intentan aceleradamente etiquetarlos como *quimeras*, en unos casos por ideología y en otros por el pánico de afrontar compromisos presupuestarios del nivel de los 700 000 millones de euros. Es necesario restablecer el consenso europeo que sustancie una plataforma sólida para mantener con firmeza una voluntad decidida de avance real y adaptar las herramientas disponibles comenzando por un acceso de la UE como un bloque único al mercado de capitales.

Me permito terminar enfatizando el hecho de que las claves sobre las que se debe edificar todo el megaproyecto global de la transición energética están en el consenso internacional de acometer una transformación profunda y sostenida y en los recursos de inversión disponibles para llevarla a cabo. Pepe Bogas cerraba su discurso el año pasado con una afirmación contundente: «Nada de esto sucederá sin la competitividad de la energía final para el usuario y sin la rentabilidad de la inversión». Me voy a permitir complementar tan sabia afirmación con el matiz de que la inversión, además de ser rentable, debe ser suficiente y llegar a tiempo.

Las alternativas sostenibles a las energías contaminantes requieren sin excepción de un salto de escala que exige una adaptación profunda del Sistema Financiero que permita articular inversiones públicas y privadas de gran magnitud

con unos requerimientos de acceso al capital y a la financiación de infraestructuras y operaciones que, en volumen y plazo, extenderán su impacto a varias generaciones.

Asumiendo que la transición energética hacia un mundo descarbonizado requeriría de grandes recursos de inversión privada, se creó en 2021 la *Net Zero Banking Alliance* con el objetivo de que los firmantes, los bancos y fondos de inversión norteamericanos de mayor calado, desviaran sus flujos de inversión de los combustibles fósiles hacia las energías limpias. La realidad hoy es que los grandes bancos y los grandes inversores institucionales, adaptándose al signo político, han abandonado estos compromisos y muchos fondos que surgieron dentro del ecosistema de *Finanzas Sostenibles adaptadas a criterios ESG* se están fusionando entre ellos o están desapareciendo. La esperanza consiste en que el péndulo quede finalmente en un lugar razonable.

Nuestros hijos y nietos heredarán este planeta y esperan de nosotros acciones concretas y resultados tangibles. Es nuestra responsabilidad asegurar que las oportunidades de empleo que creemos, las tecnologías que desarrollemos y las infraestructuras que construyamos, sean parte de un futuro más limpio para todo el planeta.

Con mi más sincero agradecimiento por su atención, espero la réplica de Pepe Bogas con humildad, con interés y con un profundo respeto.

Muchas gracias a todos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA). Combustibles sostenibles de aviación. Ministerio de Fomento, 2020.

[2] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). Marco Mundial OACI para SAF, LCAF y otras energías más limpias para la aviación. OACI, 2023.

[3] Compare Private Planes. Combustible de aviación sostenible (SAF): todo lo que necesita saber. Compare Private Planes, 2023.

[4] El Amrani-Joutey, J. "Why non-EU airlines flying to Europe could face EU carbon tariffs".Savi Report. Ishka Savi, Sustainable Aviation Intelligence,29th April, 2024:

https://www.ishkaglobal.com/Savi/Article/7445/Why-non-EU-airlines-flying-to-Europe-could-face-EU-carbon-tariffs#:~:text=The%20EU's%20CBAM%20exists%20to,a%20measure%20also%20impacting%20aviation

[5] Vicepresidencia Tercera del Gobierno. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, "Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono":

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cbam.html

[6] Cepsa. Aviación sostenible: Cepsa y aerolíneas apuestan por el SAF. Cepsa, 2024.

[7] International Business Aviation Council (IBAC). Combustible de aviación sostenible (SAF). IBAC, 2020.

[8] Rodríguez Rodríguez, D. "Sobre la Revisión del PNIEC", Fedea Policy Paper, 2023/06, Octubre de 2023:

https://documentos.fedea.net/pubs/fpp/2023/10/FPP2023-06.pdf?utm_source=wordpress&utm_medium=portada&utm_campaign=estudio

[9] International Energy Agency (IEA), 2023. “Global Hydrogen Review 2023”

[10] Hydrogen Council, 2020. “Path to Hydrogen Competitiveness: A Cost Perspective”

[11] International Energy Agency (IEA), 2019. “The Future of Hydrogen: Seizing today’s opportunities”

[12] International Renewable Energy Agency (IRENA), 2019. “Hydrogen: A Renewable Energy Perspective”

[13] Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), 2019. “Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition”

[14] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2020. “Hoja de Ruta del Hidrógeno: una apuesta por el hidrógeno renovable”

[15] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINCOTUR), 2021. “PERTE de Energías Renovables, Almacenamiento Energético e Hidrógeno Renovable”

[16] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2023. “Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2023-2030”

[17] European Commission, 2021. “Delivering the European Green Deal: Fit for 55 package”

[18] The White House, 2023. “Building a clean energy economy: A guidebook to the Inflation Reduction Act’s investments in clean energy and climate action”

[19] European Commission, 2024. “The future of European competitiveness”

[20] International Energy Agency (IEA), 2021. “Hydrogen in aviation: A pathway to decarbonise air transport”

[21] European Commission, 2020. “Clean Aviation: Towards zero-emission aviation by 2050”

Contenido

SALUDO Y AGRADECIMIENTOS 3
INTRODUCCIÓN 5
CONTEXTO Y ANTECEDENTES 6
Introducción a la Crisis Climática y la Transición Energética 6
Evolución de las Políticas Energéticas y de Descarbonización 7
Importancia de la Colaboración entre Industrias y Sectores 8
Datos y Estadísticas Relevantes 9
PARTE I: LA INDUSTRIA DE LA AVIACION 10
¿Qué son los SAF? 10
Tipos de SAF 11
Los criterios de sostenibilidad 12
Garantía de competencia leal del mercado y prevención de fuga de carbono 13
El precio y disponibilidad en el mercado 13
El SAF en el paquete *Fit For 55* de la Comisión Europea 14
La nueva industria del SAF: una oportunidad histórica global 15
PARTE II: LA INDUSTRIA DEL HIDRÓGENO 17
Introducción al Hidrógeno como Vector Energético 17
Proceso de producción de Hidrógeno mediante electrólisis de agua, alimentada por Energías Renovables (EERR) 18
Beneficios del Hidrógeno en la Descarbonización 19
Aplicaciones del Hidrógeno Renovable 19
Desafíos y limitaciones del Hidrógeno 21
Estado de las tecnologías del hidrógeno en España 24
CONVERGENCIA DE LAS DOS INDUSTRIAS. SOLUCIONES INTEGRADAS 27
Sinergias entre la Aviación y el Hidrógeno 27
Proyectos Conjuntos y Colaboraciones Intersectoriales 28
RESUMEN 31
CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES 32
BIBLIOGRAFÍA 36