

Combustibles sostenibles de Aviación y su implantación en el EA

JUAN CUESTA MARTÍN
Coronel ingeniero del Ejército del Aire y del Espacio

Las aeronaves son vehículos muy estudiados y optimizados en peso, forma, propulsión y seguridad de operación; desarrollar alternativas a los tradicionales combustibles con su alta densidad energética, resulta muy difícil. En este contexto, los combustibles sostenibles de aviación (SAF, por sus siglas en inglés) emergen como la solución más fácil para reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero, sin cambios en las aeronaves.

*Avión C.15 despegando de Torrejón.
(Imagen: Sección de audiovisuales del Ala 12)*



¿QUÉ ES UN COMBUSTIBLE SUSTAINABLE AVIATION FUEL (SAF)?

No hay una definición única, pues se refiere tanto a la porción sostenible (SAF neto), como a mezclas con combustible de origen fósil. El SAF neto, son combustibles líquidos para motores térmicos de aeronaves con origen sostenible (Synthesized Paraffinic Kerosene SPK o Synthetic Blending Component SBC) y certificados como tales por entidades independientes.

Por su origen sostenible y por su química ligeramente diferente, reducen las emisiones netas de carbono, hasta en un 80% en comparación con los combustibles fósiles; y reducen significativamente las emisiones de humo (hollín).

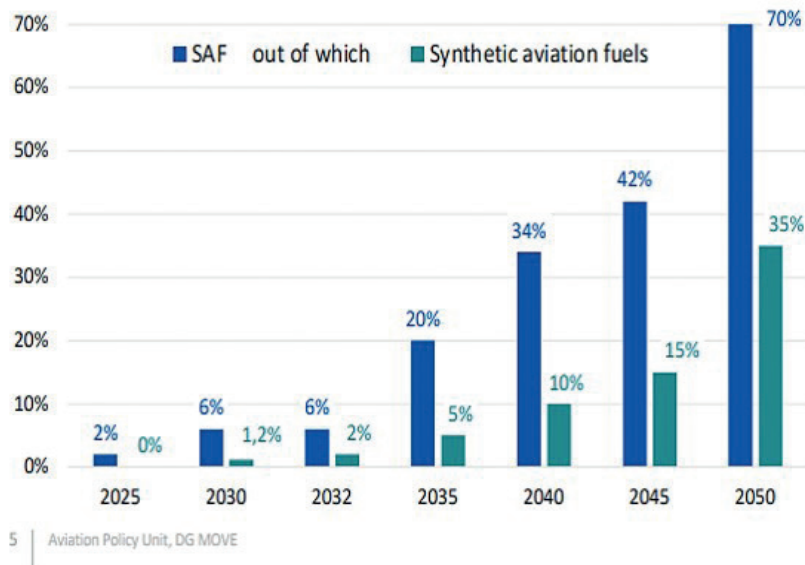


Avión C.15 en vuelo. (Imagen: Sección de Audiovisuales del Ala12)

Los SPK o SBC se componen de hidrocarburos similares a los combustibles fósiles con los que se deben mezclar. Los SAF son diversos en función del origen de las materias primas y las rutas de proceso químico, pero, a todos los efectos, la mezcla final debe ser Jet-A1 o JP8 y debe poder utilizarse de manera directa y continuada en el tiempo, sin modificaciones en aeronaves o infraestructura de suministro, propiedad conocida como *drop-in*.

Se habla en general de combustibles sintéticos cuando no derivan del petróleo, pero según la normativa ReFuelEU, habría tres grupos de SAF:

- Sintéticos propiamente dichos, que requieren capturar CO₂ y usar hidrógeno renovable en un proceso Fischer Tropsch (denominados FT). Es la ruta productiva más costosa e ideal desde el punto de vista medioambiental.



Gráfica de porcentajes de SAF obligatorios en la UE hasta 2050. (Imagen: Internet /elaboración del autor)

– Biocombustibles, como el estándar HEFA (hydroprocessed esters and fatty acids), que es el tipo de SAF más producido en estos años iniciales.

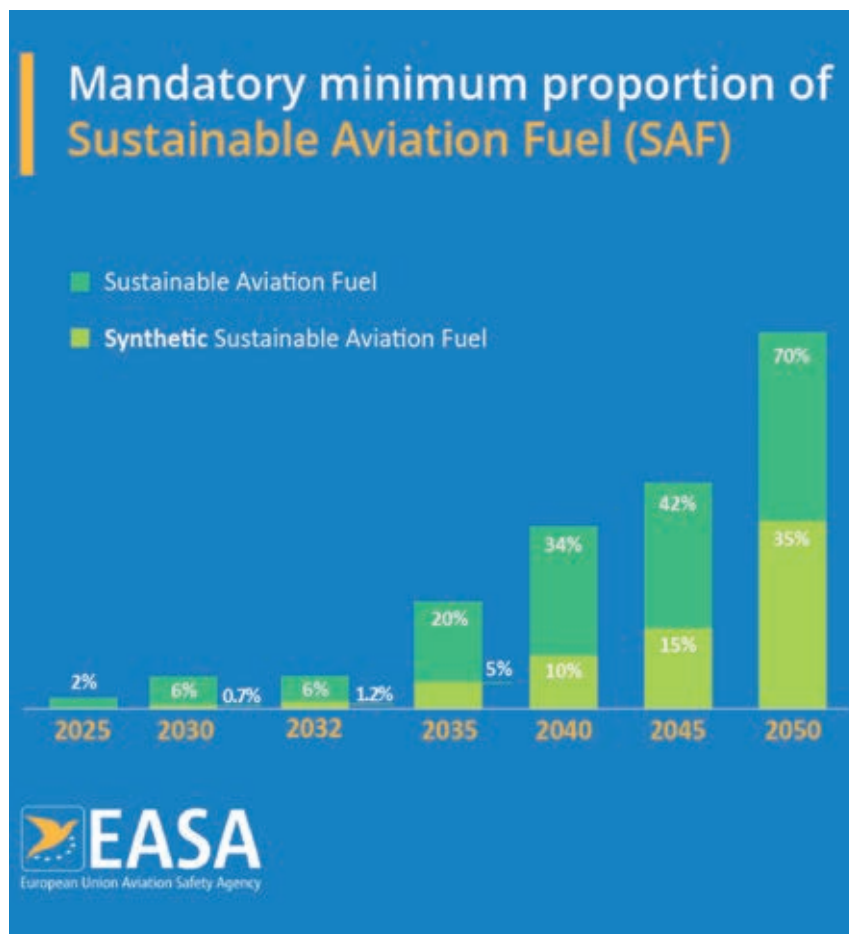
– De carbono reciclado que cumplen un umbral de reducción de emisiones durante el ciclo de vida.

HOJA DE RUTA PARA LA IMPLANTACIÓN PROGRESIVA DEL SAF

EL SAF tiene una sólida hoja de ruta, tanto en aviación civil como militar.

Se han establecido estándares internacionales que certifican las posibles rutas de producción y los porcentajes máximos de SAF en mezclas con combustible fósil. Destaca la norma ASTM D7566, que define seis posibles rutas químicas y establece un límite del 50 % de SAF neto en las mezclas.

La agenda política obliga a su implantación, en particular en la Unión Europea. Las organizaciones de aviación civil internacionales apoyan su uso, particularmente la de aerolíneas IATA (International Air Transport Association). También



Normativa REFUEL reflejada por EASA

cuenta con el apoyo de organizaciones militares (OTAN).

El producto resulta ser bueno frente al JP-8 de origen fósil. El producto SAF comercializado en la ruta de producción HEFA, es un biocombustible de más calidad que, por ejemplo, el biodiesel de automoción (FAME, fatty acid methyl ester), pues no tiene oxígeno en composición, no genera microbios y es menos higroscópico. La reducción de partículas de hollín es muy buena.

Hay una oportunidad de negocio. Las inversiones previstas en el sector petrolero a nivel mundial para producir SAF son significativas.

Finalmente, la producción de SAF tiene ciertas ventajas valorables en el ámbito geopolítico y militar.

A pesar de sus beneficios y de su progresiva implantación, los SAF tienen que superar algunos desafíos, como reducir costes de producción,

tener suficiente disponibilidad de materias primas y electricidad renovable barata. El coste de producción de los SAF es actualmente del orden del doble en el caso de bioqueroseno HEFA frente al Jet-A1, y mayor en el caso de sintéticos puros.

Se espera tener una capacidad productiva superior a un millón de toneladas anuales en 2030

En 2021, se aprobó la Ley Europea del Clima, con el objetivo de reducción gases de efecto invernadero en más de un 55% en 2030. Esto agrupa acciones denominadas FIT for 55. Se aprobó el Reglamento 2023/2405, sobre condiciones de competencia equitativas para un transporte aéreo sostenible, denominado ReFuelEU Aviation.

A partir de 2025, al menos el 2% del combustible suministrado en los aeropuertos de la UE deberá ser SAF, incrementándose gradualmente hasta un ambicioso 70% en 2050.

España será un actor importante en el desarrollo del mercado SAF en Europa, pues cuenta con proyectos significativos centrados en los combustibles de hidrotratamiento de ésteres y ácidos grasos (HEFA) y en hidrógeno renovable.

Habrán importantes inversiones de las empresas petroleras españolas y de nuevas empresas que entran en el sector de los combustibles sostenibles. Se espera tener una capacidad productiva superior a un millón de toneladas anuales en 2030. REPSOL ya tiene capacidad de 0,25 millones y nuevas instalaciones en las refinerías de Moeve (nueva marca de CEPSA) y BP, en 2026 y 2027.



Planta de biocombustible de REPSOL, dentro del complejo de la refinería de Cartagena. (Imagen: REPSOL)



Planta de biocombustible de REPSOL, dentro del complejo de la refinería de Cartagena. (Imagen: REPSOL)

No solo hay ventajas medioambientales, también estratégicas para la aviación militar.

Dentro de la OTAN, sus países miembros están explorando activamente el uso de SAF para fortalecer la seguridad de suministro, la autonomía energética y la interoperabilidad, a la par que cumplir objetivos de descarbonización y sostenibilidad del sector de defensa. La OTAN está explorando activamente el uso de SAF en sus operaciones.

PRUEBAS CON SAF EN EL EJÉRCITO DEL AIRE Y DEL ESPACIO

El EA ha decidido ser proactivo en la adopción de SAF, probando su uso seguro en las operaciones de nuestras flotas, en particular los cazas con postcombustión, los cuales son un poco más exigentes con los parámetros del combustible.

En 2024 el EA ha dado un paso más en sostenibilidad e innovación, liderando la actualización de

Los diversos tipos de SAF y su implantación progresiva suponen también una oportunidad para la investigación e innovación de las empresas tecnológicas y de las universidades españolas

la norma militar NME-3004 combustible para turbinas de aviación, tipo queroseno, Jet A-1 (NATO F-35) y JP-8 (NATO F-34) para la inclusión de combustibles sintéticos. El uso regular de mezclas de SAF en porcentajes superiores a 5 % requería esta actualización. Se

ha ampliado el límite hasta el 30 % y se espera seguir haciéndolo en unos años.

En la primavera de 2024, el Mando de Apoyo Logístico del EA (MA-LOG) planificó la primera campaña de ensayos con SAF. Se requerían análisis por parte del Centro Logístico de Material de Apoyo CLOMA, ensayos en los bancos y aeronaves de la maestranza aérea de Albacete, y las bases aéreas de Torrejón y Morón, con el objetivo final comprobar si el uso del combustible SAF elaborado mediante la ruta HEFA con porcentaje sobre un 30 %, puede afectar a la operación de las aeronaves tipo caza.

Se han usado las aeronaves E.25, C.15 y C.16 en este orden. Se han realizado pruebas secuenciales, para atenuar posibles riesgos, en banco, punto fijo y pruebas en vuelo, además de una serie de

análisis adicionales sobre el combustible para comprobar ciertos parámetros.

Se concluye con estos ensayos realizados por el EA que los parámetros de prestaciones de los motores se desvían poco o muy poco de los del JP-8 destilado, los pocos y ligeros empeoramientos están dentro de márgenes y los parámetros de emisiones de las mezclas con SAF son claramente mejores.

Para poder llevar a cabo y dar soporte a las pruebas con SAF se han usado proyectos y colaboraciones con empresas y universidades españolas, en el marco de BACSI.

Las empresas colaboradoras en las pruebas realizadas en 2024 y las que se harán en 2025 son: REPSOL como suministrador del combustible SAF desde su nueva planta de Cartagena, ITPAero, la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y la Universidad de Castilla la Mancha (UCLM), que a su vez ha buscado la colaboración del CIEMAT.

Para 2025 se han planificado nuevos ensayos desde MALOG.

Se utilizará con JP-8 SAF HEFA entre el 35 y 40%. Resulta difícil y costoso con los esquemas productivos de las instalaciones actuales, alcanzar el 50% de SAF en la mezcla que es el límite certificable, manteniendo esta mezcla en los parámetros de JP-8.

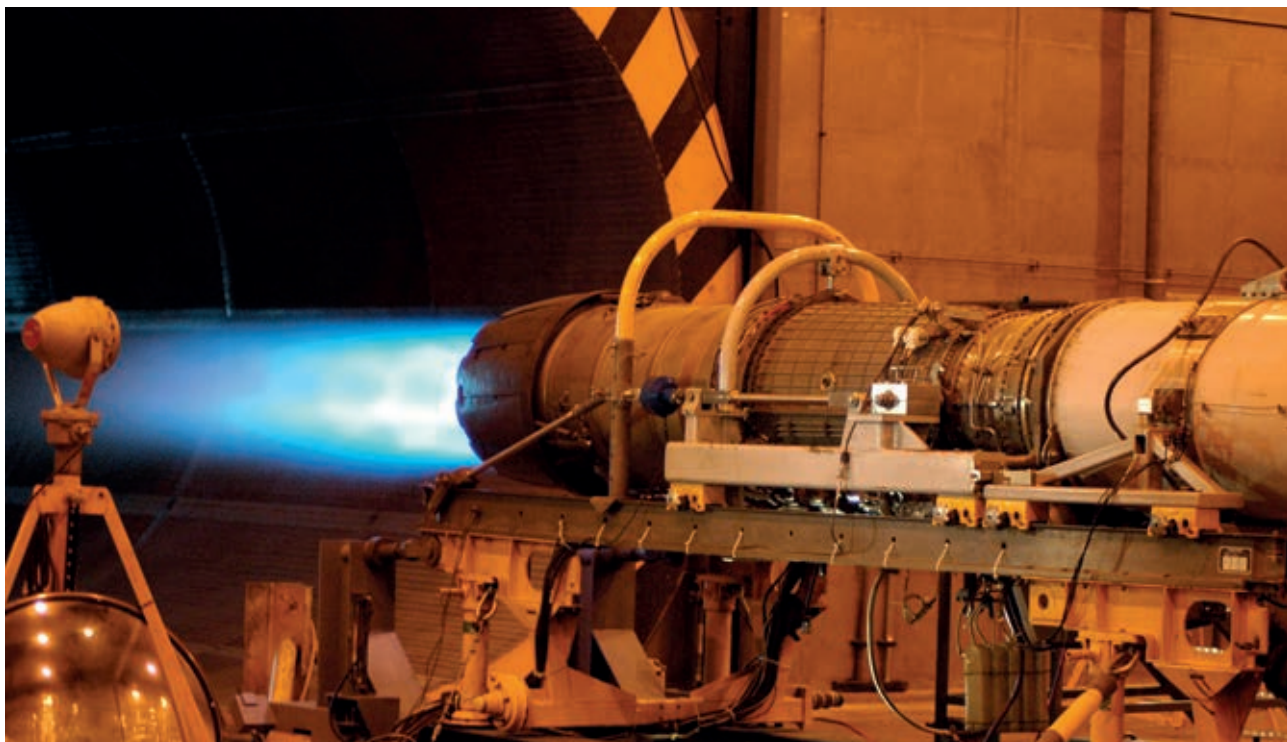
Con el JP-8 SAF, se prevé realizar un repostado en vuelo con los aviones A400M (TK.23), C.15 y C.16.

Se prevén nuevos estudios y ensayos en las universidades colaboradoras, usando SAF al 100%. Para esto no se usará SAF HEFA, sino SAF sintético FT, por estar disponible.

Los diversos tipos de SAF y su implantación progresiva suponen también una oportunidad para la investigación e innovación de las empresas tecnológicas y de las universidades españolas. Se citan a continuación dos muestras ejemplo del trabajo de estas universidades en relación al SAF.



Ensayo en los laboratorios del CLOMA. (Imagen: CLOMA -Laboratorio)



Ensayo en banco de motores del Ala 12 de un motor F404 con SAF. (Imagen: Sección de Audiovisuales del Ala 12)



Prueba de punto fijo de un C.16. (Imagen: comandante Alfredo Jimenez del Ala 11)

La UCLM está desarrollando un instrumento de medida portátil para los porcentajes de SAF, se uso en línea de una aeropuerto o base aérea. Utiliza la medición de propiedades físicas como viscosidad y densidad. Se basa en la resonancia electromecánica, sensores y modelos de aprendizaje automático de última generación. Esto ha permitido inferir varias propiedades esenciales de los combustibles y, sobre todo, medir el porcentaje de SAF con mayor precisión y rapidez que otros métodos y equipos, y a menor coste.

La UPM ha realizado diversos ensayos comparativos entre JP-8 30% SAF HEFA y JP-8 destilado del petróleo, revelando datos prácticamente neutros en prestaciones y positivos o muy positivos para el SAF HEFA en emisiones. Es relevante, por ejemplo, el efecto del SAF en la masa total de partículas de hollín, expresada en microgramos por metro cúbico para una relación fija combustible-aire y



Preparación de un C.16 para pruebas. (Imagen: comandante Alfredo Jimenez del Ala 11)

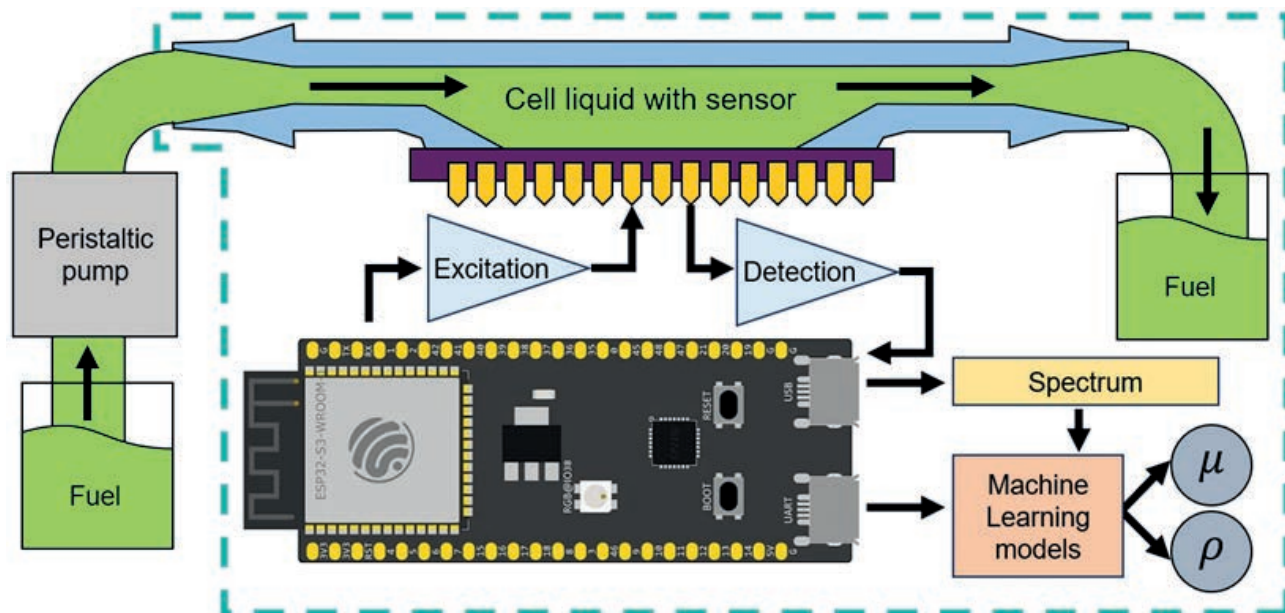
distintos regímenes. Así pues, al origen sostenible de la materia prima, se une el hecho de que con JP-8 SAF mezcla, se produce una combustión más limpia.

DESAFÍOS EN LA ADOPCIÓN DE SAF EN LA AVIACIÓN MILITAR

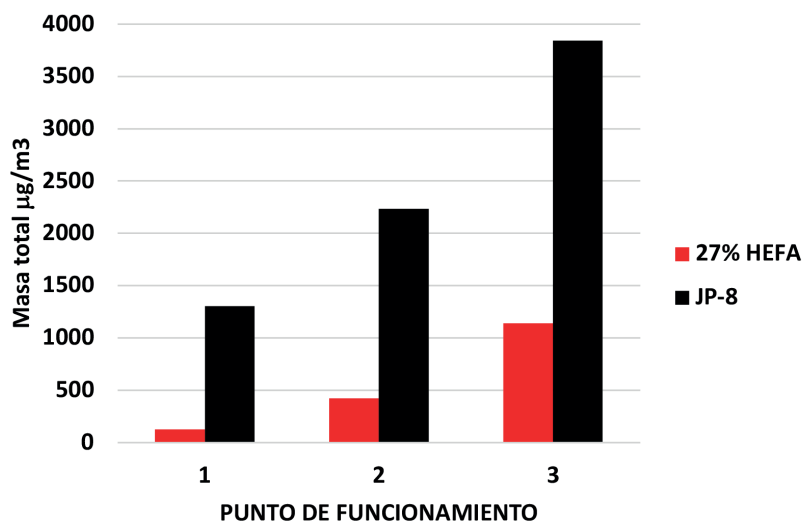
Aparte de los desafíos productivos (costes, escalabilidad), no se esperan cambios logísticos. Se trabaja

sobre la base de una teórica compatibilidad técnica para aeronaves y motores, pero la total compatibilidad técnica debe probarse para porcentajes elevados. Aunque el SAF puede ser utilizado en aeronaves militares existentes, garantizar la compatibilidad con todos los tipos de motores y sistemas militares requiere pruebas y certificaciones extensivas. Este proceso puede ser largo y costoso, y cualquier problema técnico podría afectar la disponibilidad operativa de las flotas militares. Se necesita implicación y seguimiento de los fabricantes de aeronaves y motores, así como de los suministradores de combustible.

El marco regulatorio para SAF aún está evolucionando. La adopción militar de SAF requiere políticas y regulaciones claras para garantizar que se cumplan los estándares de seguridad, calidad y sostenibilidad. Se deben armonizar estas regulaciones entre diferentes países y alianzas militares como la OTAN.



Esquema de sensores de bajo coste aplicables a la medida de porcentajes de SAF, desarrollados por la UCLM. (Imagen: José Luis Sánchez de Rojas de la UCLM)



Resultados obtenidos en la emisión de partículas de humo en los ensayos en la ETSIAE/UPM.
(Imagen: Miguel Hermanns de la ETSIAE/UPM)

Aunque el SAF puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles, la dependencia de las fuentes de energía renovable para la producción de SAF introduce vulnerabilidades.

Cualquier cambio de tecnología en aeronaves, resulta muy costoso en dinero y tiempo hasta demostrar una seguridad para la operación

OPORTUNIDADES CLARAS Y RELATIVO BAJO RIESGO DEL SAF

La implantación de SAF será progresiva, por parte de fabricantes y los suministradores de combustible. Eso atenúa cualquier riesgo técnico para la aviación. No requiere modificar aeronaves y eso es una ventaja frente a, por ejemplo, el uso de baterías o hidrógeno. Cualquier cambio de tecnología en aeronaves, resulta muy costoso en dinero y tiempo hasta demostrar una seguridad para la operación.

El SAF ha sido probado en el EA en porcentajes sobre el 30%. Se espera poder usar sin problemas porcentajes cercanos al 50% (actual límite de las normas ASTM), cuando sean suministrables, y se espera a futuro llegar a porcentajes superiores, conforme haya normativas internacionales que lo soporten como JP-8, y sea un estándar fabricable y suministrable.

Para el EA, que consume aproximadamente 100 millones de litros de combustible JP-8 al año, el progresivo uso de SAF supone reducir significativamente la huella de carbono. ■



Avión C.15 en vuelo. (Imagen: Sección de Audiovisuales del Ala12)