

COMBINA - Integración de **COM** bustibles renovables en **B**ases **IN**teligentes y energéticamente **A**utónomas

Premios del Ejército del Aire y del Espacio 2025

Disciplina:

Promoción de la Cultura Aeroespacial (5.8) / BACSI (5.8.1.2)

INDICE

1.ANTECEDENTES.....	3
2.OBJETIVO DEL PROYECTO.....	4
3.ESTADO DEL ARTE.....	6
3.1. ESCENARIO GENERAL.....	6
3.1.1 OTAN.....	6
3.1.2 Unión Europea.....	7
3.1.3 España.....	8
3.2.MICRORREDES.....	8
3.3.SISTEMA DE PRODUCCION DE H2 MEDIANTE ELECTROLISIS.....	13
3.3.1 Contexto General.....	13
3.3.2 Tecnología Solid Oxide Electrolyse.....	14
3.4.COMBUSTIBLES RENOVABLES.....	19
3.4.1 Estado del Arte.....	19
3.4.2 Proceso de co-electrólisis.....	21
3.5.GEMELOS DIGITALES.....	25
4.INNOVACIONES TECNOLOGICAS.....	26
5.PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA.....	27
5.1. CRONOGRAMA.....	27
5.2. METODOLOGIA.....	27
6.PRESUPUESTO.....	37
7.VALORACION DEL IMPACTO DE LA PROPUESTA EN BACSI.....	37

COMBINA - Integración de **COM**bustibles renovables en **Bases IN**teligentes y energéticamente **Autónomas**

1. ANTECEDENTES

La Base Aérea Conectada Sostenible e Inteligente (BACSI) del Ejército del Aire¹, es un proyecto en el que se diseñarán las bases aéreas con proyección de futuro, para hacerlas más operativas y eficientes en el empleo de todos sus recursos, aprovechando la revolución digital y tecnológica, así como los avances en la sostenibilidad medioambiental. Las bases aéreas constituyen parte esencial de la Fuerza del Ejército del Aire, pues desde ellas es protegida y opera la Fuerza Aeroespacial, siendo además las responsables de la mayor parte del esfuerzo logístico que supone la generación del potencial de horas de vuelo de sus aeronaves, así como del adiestramiento de su personal.

El proyecto BACSI por lo tanto consiste principalmente en conectar los distintos elementos que constituyen una base aérea: las personas, sus ideas y las cosas (sistemas) que les rodean mediante la tecnología. Pretende dar un paso en la transformación digital del Ejército del Aire, aprovechando la evolución tecnológica ligada a la Industria 4.0, la Inteligencia Artificial, y demás avances vinculados a la llamada 4ª revolución Industrial, mediante múltiples sub-proyectos de investigación y desarrollo, con el fin de que éste sea implantado en las bases aéreas del Ejército del Aire.

Tiene como objetivo potenciar los recursos y aumentar la productividad y la operatividad de una base aérea. Para ello, se desarrollan programas orientados a la reducción de los consumos de suministros, mediante el empleo de energías renovables, una gestión apoyada en aplicaciones digitales inteligentes, la eliminación de pérdidas y la mejora en la gestión de residuos

En definitiva, el objetivo final es conseguir bases áreas cada vez más autónomas desde el prisma de la seguridad energética y más resiliente frente a las amenazas y emergencias.

¹ [BACSI](#)

El proyecto que aquí se presenta se engloba dentro de del Área Funcional AF2. Eficiencia energética y sostenibilidad medioambiental² y en concreto da respuesta a los subproyectos 2.1 Desarrollo de un programa informático de digitalización, automatización y explotación de la información de gestión ambiental y energética; 2.2. Monitorización energética de Bases Aéreas y 2.8.1. Generación de hidrógeno renovable.

En concreto:

1. Reducción y optimización de consumos, que Incluye todo lo relativo a las mejores técnicas disponibles para el control de los consumos energéticos, agua, etc., incluyendo el análisis del ciclo de vida (ACV)
2. Autonomía en la generación, optimización y gestión energética, incluyendo el almacenamiento donde se buscará la no dependencia energética de terceros países o de redes logísticas, el ahorro de costes o el aumento de la autonomía y, por lo tanto, de la proyección de la Fuerza
3. Reducción de la huella ambiental, en ruido, impacto paisajístico, impacto lumínico, residuos y vertidos y emisiones inocuas.

2. OBJETIVO DEL PROYECTO

COMBINA es un proyecto que aúna diferentes desarrollos tecnológicos con el objetivo final de contribuir a conseguir bases aéreas autónomas e inteligentes desde un punto de vista energético y que a su vez permitan integrar combustibles de origen renovable

Para ello será necesario:

- Aumentar la eficiencia energética global de los sistemas
- Incorporar la producción de energía renovable a nivel de las bases para todo tipo de necesidades (electricidad, calor, frío...)
- Electrificar parcialmente la movilidad y desarrollar combustibles disruptivos para las plataformas terrestres móviles y aéreas (como el hidrógeno o los e-combustibles)
- Desplegar sistemas avanzados de gestión de la energía (EMS)

² [BACSI. Energía y medioambiente](#)

- Reducir el consumo final de energía de las bases

Por ello, el **objetivo principal** de **COMBINA** es el desarrollo de una Smart Grid en la Base que incluya la producción de combustibles de origen renovable a partir de la producción de hidrógeno verde de alta temperatura.

Los objetivos que se describen a continuación están enfocados a conseguir el objetivo general descrito con anterioridad a través del desarrollo de una red inteligente en la Base que permita a su vez la generación de combustibles verdes para su uso en la Base.

Los **objetivos técnicos** que se deberán alcanzar son los siguientes:

[OT1] Dimensionar y diseñar una microrred en la Base que incluya la generación renovable disponible, la demanda eléctrica y térmica, sistemas de almacenamiento y planta de producción de combustible renovable (a partir de la producción de H₂).

[OT2] Desarrollar un HEMS (Hybrid Energy Management System), herramienta de gestión que permita optimizar los consumos tanto eléctricos como térmicos de la Base y posibilite la participación de las infraestructuras elegidas como elementos activos en el sistema eléctrico.

[OT3] Integrar la plataforma de blockchain GreenLedger dentro del HEMS para **garantizar la trazabilidad de las transacciones** propias.

[OT4] Integrar sistema de producción de hidrógeno SOEC para la CO-electrólisis de H₂O y CO₂ como vía para la producción de combustibles líquidos para el transporte. La co-electrólisis de dióxido de carbono capturado y agua se utiliza para producir gas de síntesis (syngas) verde, una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono (una materia prima para la producción de combustibles renovables); esto proporciona un bucle cerrado para el uso del carbono.

[OT5] Desarrollo de procesos de generación de combustible verde a partir del gas de síntesis obtenido. **Aplicar procesos catalíticos a escala de laboratorio**

para la síntesis de combustible SAF y validar el acoplamiento con el proceso de co-electrolisis.

Los **objetivos estratégicos** del proyecto son:

[OE1] Disponer de un primer modelo energético completo de una Base Militar Aérea que integre sensorización avanzada en las infraestructuras definidas de la Base y que pueda ser replicable en cualquier otra ubicación.

[OE2] Incorporar modelos energéticos como medio para identificar los problemas reales de una infraestructura de estas características desde un punto de vista energético permitiendo así la realización de los planes de inversión y mantenimiento para la inclusión de medidas de eficiencia energética.

Los **objetivos ambientales** perseguidos por el proyecto son:

[OA1] Disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, y por consiguiente del CO₂, mediante la utilización de combustible renovables. Europa pretende alcanzar una reducción del 30% en 2030 y del 50% en 2050.

[OA2] Reducir la demanda en base a estrategias de optimización presenta un beneficio ambiental, como atestiguan los actuales programas de “Demand Response”. Reducir la demanda implica una reducción de la generación eléctrica basada en combustibles fósiles, así como una importante reducción en el impacto ambiental relacionado con el transporte de la energía eléctrica

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. ESCENARIO GENERAL

3.1.1. OTAN

Las fuerzas armadas de la mayoría de las naciones, al ser grandes consumidoras de energía, especialmente de combustibles fósiles, dependen en gran medida de las importaciones procedentes de países situados en regiones inestables. Los acontecimientos de las últimas décadas han incluido la cuestión de la energía en la agenda de seguridad de la OTAN. El programa de **Smart**

Energy de la OTAN³ se inició en 2011 con el objetivo de aumentar la eficiencia energética de las fuerzas armadas aliadas mediante el uso de energías renovables y la mejora de la gestión energética.

Dentro de esa agenda, la OTAN se centra en tres actividades principales: (i) Aumentar la concienciación estratégica sobre la importancia de la innovación en el campo de la seguridad energética, (ii) Apoyar la protección de las infraestructuras energéticas críticas y (iii) Garantizar el suministro de energía a los ejércitos.

Respecto a la última actividad, el objetivo es garantizar la seguridad de las infraestructuras energéticas críticas y las cadenas de suministro, así como desarrollar soluciones energéticas innovadoras, resistentes, eficientes y autónomas para el ejército, como microrredes dedicadas con generación híbrida de energía.

La OTAN pretende mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad en el ámbito militar, manteniendo al mismo tiempo la eficacia operativa. En este sentido, el trabajo de la OTAN en materia de "energía inteligente " se centra en reducir el consumo de combustibles fósiles en las infraestructuras de las fuerzas desplegadas, como campamentos y bases de operaciones, lo que se traduce en una mayor autonomía, una menor carga logística y una menor huella medioambiental.

3.1.2. Unión Europea

Teniendo en cuenta los objetivos de la Unión Europea para alcanzar las emisiones netas cero en 2050, el sector de la defensa puede beneficiarse de los conocimientos técnicos desarrollado en el ámbito civil. El sector mundial de la defensa es una industria intensiva en energía y, en Europa, las fuerzas armadas son el mayor propietario público de terrenos e infraestructuras libres. La mayor parte de las infraestructuras militares no son suficientemente eficientes desde el punto de vista energético. Por ejemplo, la calefacción representó el 32% del

³ [NATO tests smart energy solutions in Hungary | Smart Energy International](#)

consumo de energía de las fuerzas armadas de la UE en 2017. Reducir la demanda de energía y aumentar la resiliencia energética es esencial para que las fuerzas armadas garanticen un alto nivel de preparación y sostenibilidad.

Otra muestra del interés de la sostenibilidad en el ámbito de la defensa es *Consultation Forum for Sustainable Energy in the Defence and Security Sector* (CF SEDSS), una iniciativa de la Comisión Europea gestionada por la Agencia Europea de Defensa para ayudar a los Ministerios de Defensa de la Unión Europea a avanzar hacia modelos energéticos ecológicos, resilientes y eficientes.⁴

3.1.3. España

La **Estrategia Española de Tecnología e Innovación para la Defensa** (ETID 2020)⁵ identifica 11 áreas de I+D+i de interés para la defensa, cada una de ellas subdividida en líneas de investigación específicas. El particular el Área 4 - Bases e instalaciones, en la que se definen dos líneas de I+D específicas (i) Sistema integrado de generación renovable para FOB y (ii) Redes inteligentes.

El **Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica (SOPT)** se encuentra encuadrado dentro de la Subdirección General de Planificación, Tecnología e Innovación (SDG PLATIN) de la Dirección General de Estrategia e Innovación de la Industria de Defensa (DIGEID) del Ministerio de Defensa y cuanta con once observatorios tecnológicos entre los que se encuentra Energía y Propulsión (OT ENEP)⁶.

3.2. MICRORREDES

En la actualidad, las infraestructuras militares están trabajando en un nuevo enfoque de la infraestructura de la red eléctrica para mantener la seguridad y el acceso a la energía operativa. Las recientes catástrofes naturales y ciberataques

⁴ [Consultation Forum Sustainable Energy](#)

⁵ <https://publicaciones.defensa.gob.es/defence-technology-and-innovation-strategy-etid-2020-libros-pdf.html>

⁶ [Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica \(SOPT\)](#)

han puesto de manifiesto la vulnerabilidad del sistema actual, lo que supone una amenaza para la disponibilidad operativa militar.

Las instalaciones militares estratégicas adquieren actualmente la mayor parte de su energía eléctrica directamente de la red, que es cada vez más vulnerable a los fallos. Los problemas experimentados hasta la fecha podrían agravarse exponencialmente si el objetivo fuera un adversario sofisticado con capacidades cibernéticas ofensivas avanzadas. Simultáneamente, el crecimiento de las energías renovables y el aumento de la necesidad de la descarbonización crean retos y oportunidades para la energía operativa.

Una Arquitectura Energética de Defensa (por sus siglas en inglés DEA) debería abordar estas cuestiones proporcionando un enfoque integral para la implementación de microrredes en instalaciones de defensa y capacidades energéticas desplegables. Una DEA proporciona simultáneamente una mayor seguridad de las infraestructuras, así como la reducción de emisiones de gases efecto invernadero. Una DEA también debe hacer hincapié en el desarrollo de aplicaciones de almacenamiento de energía más allá de las baterías, concretamente el hidrógeno. Es necesario un sistema totalmente integrado de producción de electricidad basado en energías renovables y almacenamiento de energía, para maximizar los beneficios tanto en instalaciones permanentes como en entornos móviles. La DEA debería centrarse en recursos eficientes basados en los requisitos de cada base en la que se emplearían las microrredes. La necesidad de implantar redes inteligentes (microrredes) en las instalaciones militares viene justificada por las necesidades de seguridad y resistencia energética que superan con creces la mayoría de los requisitos civiles, por lo que se necesita un sistema independiente de producción y almacenamiento de energía. Además, podrían avanzar rápidamente para alcanzar los objetivos de cero emisiones para la producción de energía.

Una microrred puede definirse como "una red de energía local con capacidad de control, lo que significa que puede desconectarse de la red tradicional y funcionar de forma autónoma ". Esto abarca tanto la generación como el almacenamiento de energía. La definición del concepto no sólo debe centrarse en las necesidades

a corto plazo, sino también mantener abiertas las opciones para futuras adaptaciones. Son sistemas energéticos autosostenidos y localizados que pueden funcionar de forma independiente o en conjunción con la red eléctrica principal. Las microrredes ofrecen una serie de ventajas, como una mayor fiabilidad, eficiencia y flexibilidad energéticas (como el aprovechamiento de la energía solar u otras energías renovables). Como solución energética descentralizada y autónoma, las microrredes mejoran la capacidad la infraestructura de defensa para resistir interrupciones y garantizar la continuidad de las operaciones de misión crítica.

Las microrredes pueden reducir la cantidad de combustibles fósiles consumidos para generar electricidad conectando los generadores en red como un sistema para maximizar la eficiencia. También pueden utilizarse para ayudar a integrar recursos energéticos renovables (como la eólica y la solar) en la red de distribución local. Al mismo tiempo, las microrredes permiten a las bases militares -tanto estacionarias como de operaciones de avanzada- mantener sus operaciones, independientemente de lo que ocurra en la red de suministro general o en el escenario de guerra.

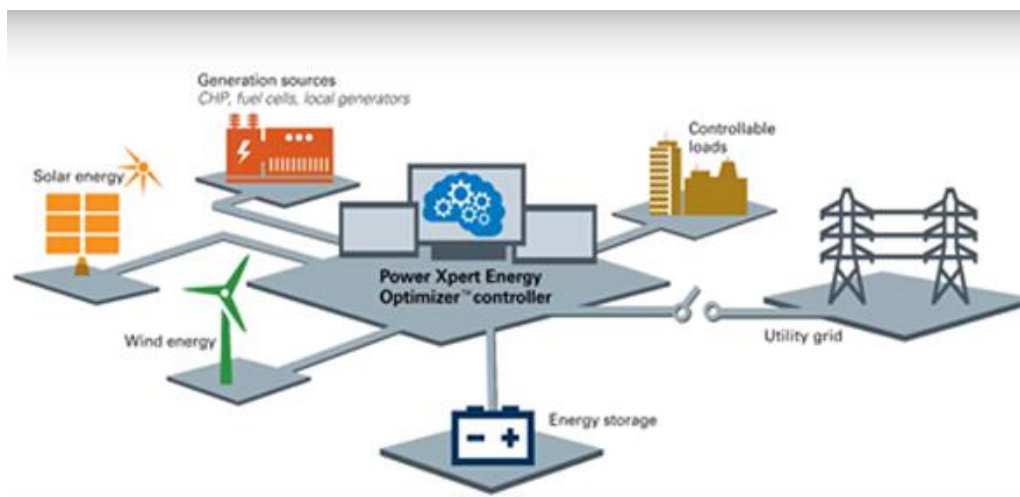


Figura 1. Esquema general de una microrred

"No se trata sólo de generar energía; se trata de garantizar la preparación de la misión independientemente de las circunstancias externas. Mediante la integración de energías renovables y otras fuentes de energía, el campamento

de Arifjan está tomando las riendas de su propia seguridad energética", declaró Jack Peters, director del programa de energía operativa de la Dirección Central de Ingeniería del Ejército de Estados Unidos (ARCENT).

Sus principales componentes son:

- Recursos energéticos distribuidos (DER): Los DER, que abarcan fuentes de energía renovables como la solar, la eólica y la biomasa, junto con la generación de energía tradicional como el gas natural, crean una combinación energética diversificada. La reducción de la dependencia de una única fuente de alimentación mejora la fiabilidad general de la microrred
- Almacenamiento de energía: Normalmente en forma de baterías avanzadas, los sistemas de almacenamiento de energía almacenan el exceso de energía generada durante los periodos de baja demanda, dejándola disponible durante los periodos de alta demanda o cuando la fuente de energía primaria no está disponible. Esto garantiza un suministro de energía constante, contribuyendo a la resiliencia energética
- Sistemas de control: Las microrredes están equipadas con sofisticados sistemas de control que supervisan, gestionan y optimizan el flujo de energía en tiempo real. Estos sistemas utilizan algoritmos avanzados para optimizar el uso de la energía, equilibrar la distribución de la carga y alternar sin problemas entre fuentes de energía, garantizando un suministro continuo y estable
- Conectividad a la red: Las microrredes pueden funcionar tanto conectadas a la red principal como en modo isla, donde funcionan de forma independiente. La capacidad de desconectarse de la red principal en caso de emergencia garantiza que las instalaciones militares puedan mantener sus operaciones críticas incluso cuando la red principal se vea comprometida.

Es el Sistema de Gestión de la Energía o Sistema de Control la pieza clave en el desarrollo de las microrredes. Un sistema de gestión de la energía es un conjunto de herramientas que combina software y hardware para distribuir de

forma óptima los flujos de energía entre los recursos energéticos distribuidos (DER) conectados. Los usuarios utilizan los sistemas de gestión de la energía para optimizar la generación, el almacenamiento y/o el consumo de electricidad con el fin de reducir tanto los costes como las emisiones y estabilizar la red eléctrica y proporcionarles en caso de que sea necesario independencia energética.

Un EMS recopila, analiza y visualiza datos en tiempo real y controla dinámicamente los flujos de energía. Un sistema de gestión de la energía es el componente básico de los futuros casos de uso de la energía, ya que supervisa y controla de forma inteligente diversos activos energéticos dentro de un hogar, un edificio o un emplazamiento más amplio. El sistema tiene en cuenta datos en tiempo real, como la producción fotovoltaica de los tejados, el estado de las baterías y el consumo de carga, junto con información externa como los precios de la electricidad o las previsiones meteorológicas. Esto permite al EMS tomar decisiones inteligentes sobre cuándo cargar o descargar una batería, cuándo utilizar energía solar generada localmente o extraer energía de la red, y cómo optimizar constantemente las estrategias de gestión de la energía para adaptarse a las tres D de la nueva era energética: digitalización, descarbonización y descentralización.



Figura 2. Ejemplo de Microrred Industrial: Sistema de Gestión y Control de la Energía. Fuente: propia

3.3. SISTEMA DE PRODUCCION DE HIDROGENO MEDIANTE ELECTROLISIS

3.3.1. Contexto general

El reto que tienen los sistemas eléctricos en los países desarrollados consiste en mantener la fiabilidad actual, contribuir activamente a la sostenibilidad del modelo energético y adaptarse a los cambios demandados por los usuarios. En concreto, deben evolucionar hacia tecnologías más limpias, contribuir decisivamente a la reducción de la emisión de CO₂ en otros sectores y desarrollar “su inteligencia”. Por ello, se prevé que el hidrógeno se convierta en uno de los vectores energéticos predominantes. El uso de electrolizadores es, por tanto, una necesidad/obligación para alcanzar los objetivos impuestos tanto a nivel europeo como nacional. En consecuencia, las infraestructuras de producción de hidrógeno a diferentes escalas van a ser una realidad y la necesidad de equipos de electrónica de potencia que posibiliten su integración va a ser imperiosa. La producción mundial actual de hidrógeno ha alcanzado un volumen significativo de 94 millones de toneladas anuales, como se representa en la Fig. 1. La mayor parte, aproximadamente el 59,7%, se obtiene mediante el reformado de metano con vapor, seguido de un 19% procedente de la gasificación del carbón, un 0,6% del reformado del petróleo y el 20,7% restante de subproductos del reformado de la nafta. Como evidencia la figura, actualmente, una fracción mínima del hidrógeno se produce mediante electrolizadores. El hidrógeno, vital en numerosos sectores, se utiliza predominantemente en la producción de amoníaco (65%), metanol (25%) y hierro (10%), mientras que el 1% restante se destina a diversas aplicaciones como la movilidad eléctrica, el almacenamiento de energía, el refinado de petróleo y la generación de electricidad.

En base a sus usos industriales actuales, la tasa de crecimiento anual de la producción de hidrógeno se estima en un 3-4%. Sin embargo, en la actualidad esta producción está alimentada principalmente por fuentes de energía no renovables, lo que conlleva importantes emisiones de CO₂ -aproximadamente 900 MtCO₂ al año, que constituyen el 2,5% de la producción mundial.

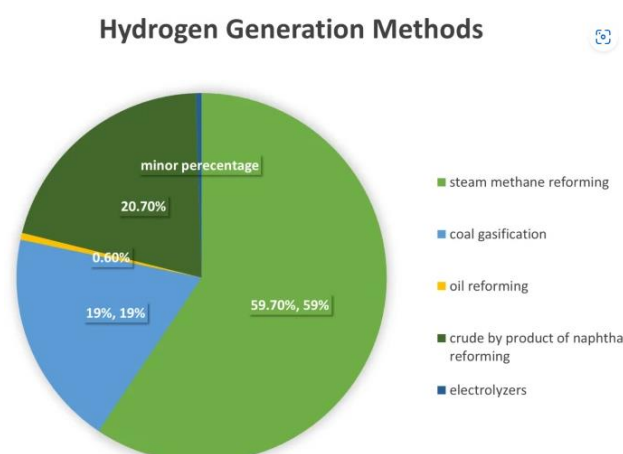


Figura 3. Volumen producción de H_2

En el contexto de transición ecológica en el que estamos inmersos, el hidrógeno se vislumbra como un vector energético clave para descarbonizar aquellos procesos de difícil electrificación. En este sentido, se prevé que la demanda de hidrógeno se multiplique por más de diez de aquí a 2050. Para contrarrestar la dependencia de los combustibles fósiles, la integración de la electrólisis del agua alimentada por fuentes de energía renovables, como turbinas eólicas y fotovoltaicas, surge como una alternativa sostenible. Este planteamiento coincide con el objetivo de desarrollar métodos de producción de hidrógeno respetuosos con el medio ambiente que sustituyan a los procesos convencionales basados en contaminantes.

Para 2050 se espera una demanda de hidrógeno verde de cientos de megatoneladas, lo que requerirá teravatios de capacidad de electrolizadores, mucho más de lo que tienen actualmente otros grandes procesos electroquímicos como la producción de aluminio (~ 100 GW) y la electrólisis de cloro-álcali (~ 20 GW). Existen distintas tecnologías de electrólisis del agua, la electrólisis alcalina, la electrólisis de membrana de intercambio protónico (PEM), la electrólisis de óxido sólido (SOEC) y la de membrana de intercambio aniónico (AEM).

3.3.2. Tecnología Solid Oxide Electrolysis

Hoy en día, la tecnología dominante para la producción de hidrogeno verde es la electrolisis del agua. Este proceso electroquímico implica la ruptura controlada

de la molécula de agua mediante reacciones de oxidación/reducción, transformando así la energía eléctrica en energía química en forma de H₂. Como se recoge en la Figura 4, tanto la celda de electrólisis como las pilas de combustible se componen de tres elementos principales: el electrolito, el electrodo positivo (cátodo) y el electrodo negativo (ánodo). El material del que está formado el electrolito marca la diferencia entre las diferentes tecnologías, pudiendo ser un líquido alcalino (electrólisis alcalina), una membrana de intercambio protónico polimérica (electrólisis PEM) o un óxido sólido cerámico (electrólisis SOE). Este material de partida, a su vez, determina las condiciones de operación de las diferentes celdas, principalmente en términos de temperatura de operación. Si bien las celdas alcalinas y PEM operan a temperaturas relativamente bajas (< 150 °C), la electrólisis SOE requiere de temperaturas de trabajo por encima de los 650 °C.

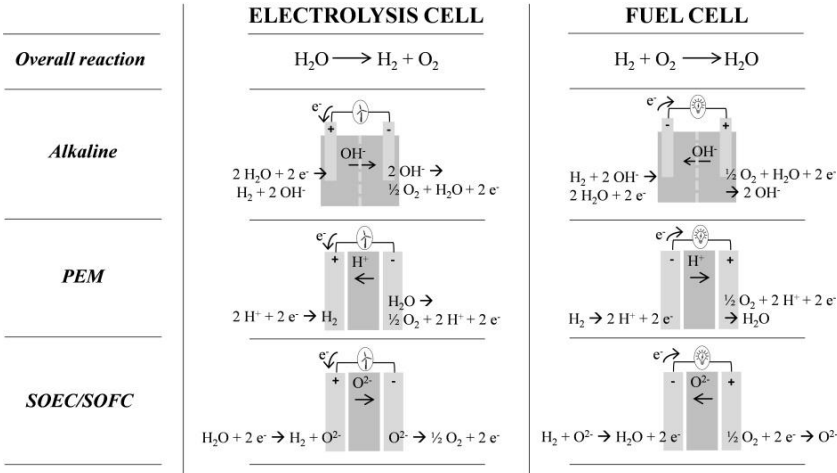


Figura 4. Principio de operación de una celda electroquímica en modo electrólisis y modo pila de combustible

Por lo general, los procesos electrolíticos de agua a baja temperatura PEM y alcalinos requieren una gran cantidad de electricidad y catalizadores de metales nobles, lo que conlleva una baja eficiencia y un alto coste. En concreto, la principal limitación de la electrólisis alcalina radica en la densidad de corriente de trabajo máxima, que no supera los 0.5 A/cm² (los últimos prototipos pueden llegar a 2 A/cm²). Corrientes por encima de este valor originan una presión parcial de los gases en los electrodos muy elevada que conlleva un aumento del consumo energético. Por otro lado, la eficiencia energética de estos dispositivos

está limitada a valores entorno al 65%. Respecto a los PEM, la eficiencia energética de este tipo de electrolizadores es del 70 – 75% y permiten trabajar con densidades de corriente más elevadas que los AWEs. Sin embargo, el tipo de materiales que se utilizan tanto como electrodos como de membranas separadoras, encarecen su coste de fabricación.

	PEMEC	AEC	MSEC	SOEC
Electrolyte	Polymer membrane	Liquid KOH	Molten salt	Ceramic
Charge carrier	H ⁺	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
Operating temperature	60-80 °C	60-80 °C	400-800 °C	600-900 °C
Pressure	30-80 atm	1-30 atm	1-6 atm	1 atm
Catalyst	Platinum	Platinum, Nickel	Ni	Nickel
Cell components	Carbon based	Carbon based	Metal-based, oxides	Ceramic based
Fuel compatibility	H ₂ O	H ₂ O	CO ₂	H ₂ O, CH ₄ , CO ₂

Figura 5. Principales características de diferentes tecnologías de electrolizadores

El desarrollo de la tecnología de electrolizadores cerámicos de alta temperatura tipo SOE se fundamenta en la conocida tecnología SOC (Solid Oxide Cell), a partir de la cual se han desarrollado las pilas de combustible tipo SOFC (Solid Oxide Fuel Cell, ver Figura 4).

El electrolito es un material cerámico que permite el transporte de iones O₂⁻, aunque existe el concepto de SOE con electrolitos conductores de iones H⁺. La alta temperatura de operación de las SOE conlleva también importantes ventajas en términos de eficiencia de conversión de energía, gracias a una termodinámica y cinética favorable (ver Figura 6). Los beneficios de la alta temperatura de operación de los SOE se basan en menores pérdidas de activación a bajas densidades de corriente y al menor consumo de energía eléctrica, que es muy inferior a altas temperaturas por la propia termodinámica del proceso de electrolisis del agua. Además de tener potencial para transformación de altas corrientes en alterna a H₂ de manera que la eficiencia total del sistema puede ser del 100%. La tecnología SOE es reversible: el mismo sistema puede

funcionar tanto como pila de combustible como electrolizador dependiendo de la potencia, necesidades de generación y estabilidad de la red. Además, trabajar a alta temperatura favorece la conversión directa vía electroquímica de hidrocarburos, lo cual es particularmente relevante para la conversión de CO_2 en CO .

Esto **posibilita en celdas SOE la co-electrólisis de H_2O y CO_2 , para la producción directa de syngas ($\text{H}_2 + \text{CO}$), un precursor básico en las rutas de síntesis de la mayoría de hidrocarburos.**

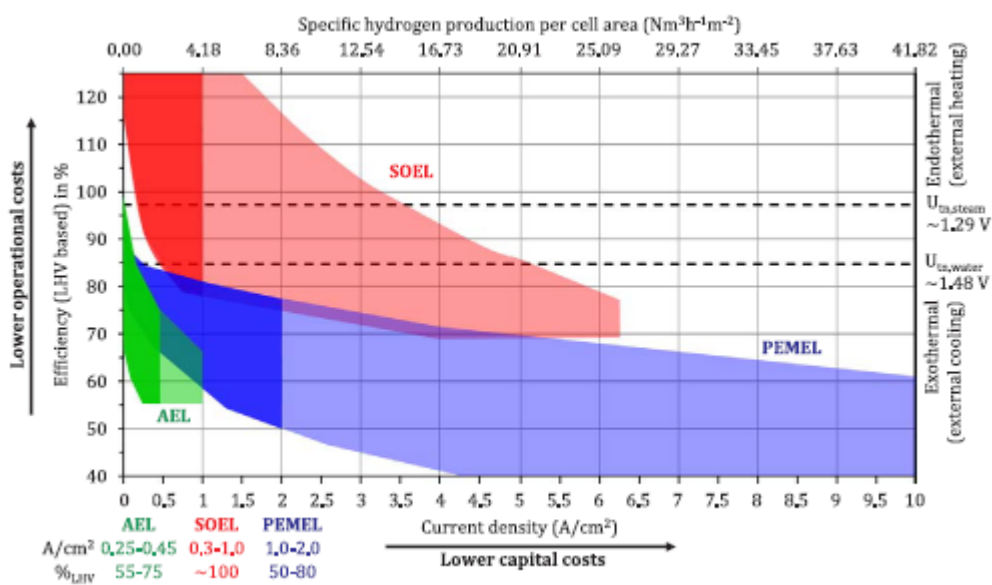


Figura 6. Comparativa de la eficiencia de celdas de electrolisis alcalina (AEL), PEM y SOE, en función de la densidad de corriente

La evolución de SOE en las últimas décadas ha sido significativa (x2 en potencia, x100 en durabilidad en la última década) y la tecnología se encuentra en la actualidad en fase de prototipado y validación. Las condiciones de operación de las celdas SOE encajan particularmente con aplicaciones estacionarias, combinadas con procesos exotérmicos donde se pueda dar uso al calor residual de otros procesos. Así, ya se han probado eficiencias eléctricas por encima del 85% (usando vapor de agua como fuente de partida). Sin embargo, pensando en una utilización a gran escala y en el desarrollo de una tecnología económicamente competitiva, es evidente que se necesita una mayor optimización. Los retos de investigación en SOE están relacionados con la reducción del coste de producción, la mejora de durabilidad, la comprensión y la

optimización de las interfaces, el rendimiento y la sostenibilidad de los materiales. Además, es importante considerar el escalado y validación de los avances tecnológicos más prometedores a nivel de laboratorio a una escala pre-comercial, así como su acoplamiento con otras fuentes de energía.

La tecnología SOEC es la menos desarrollada de las tres mencionadas y por ello la más cara en la actualidad, pero la propia industrialización y economía de escala permiten vislumbrar unas perspectivas de disminución de costes más altos para los próximos 10 años. Las tecnologías de producción de Hidrógeno mediante electrolisis de baja temperatura son tecnologías consolidadas. Actualmente existen instalaciones con electrolizadores alcalinos del orden de los MW. En el caso de electrolisis PEM, la tecnología comercial también alcanza el orden de los MW. Por el contrario, no hay una fabricación a gran escala de SOE y sólo se cuenta con prototipos del orden de kW desarrollados para proyectos de demostración, a pesar de los grandes progresos alcanzados en el funcionamiento de SOE gracias a las investigaciones llevadas a cabo en las empresas Sunfire (Alemania), Haldor Topsoe (Dinamarca), Elcogen (Finlandia), OxEon (USA), SOFCMAN (China) o en centros tecnológicos tales como EIFER (Alemania), CEA (Francia) o DTU (Dinamarca). En España no existe una oferta empresarial de SOE.

Hace 15 años, la electrolisis a alta temperatura usando SOE era considerada como una tecnología inmadura que se encontraba en una fase de I+D con pocas posibilidades de abordar en el medio plazo tan siquiera a nivel de demostración. Solo se consideraban como tecnologías viables las de celdas alcalinas y las de membrana polimérica (PEM). Esta situación ha cambiado radicalmente en estos años. En la actualidad, la tecnología SOE se encuentra lista para su escalado a nivel industrial para la producción masiva, no sólo de hidrógeno, sino también de otros productos químicos de alto valor añadido, ya sean combustibles o de otro tipo. Una característica fundamental de la tecnología SOE que ha permitido este avance tan rápido, es su escalabilidad.

3.4. COMBUSTIBLES RENOVABLES: CO-ELECTROLISIS DE ALTA TEMPEARTURA SOEC

3.4.1 Estado del Arte

La quema de combustibles fósiles supone más de tres cuartos de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global⁷. Además, su uso indiscriminado conlleva una contaminación atmosférica local creciente, lo que resulta especialmente preocupante en entornos urbanos, donde habita el 57% de la población mundial (que será el 68% en el 2050 según Naciones Unidas⁸).

Pese a que se han desplegado numerosas políticas de mitigación de emisiones mediante el uso de alternativas energéticas basadas en fuentes renovables, existen sectores como el del transporte pesado que aún hoy utilizan casi exclusivamente combustibles fósiles. En línea con los objetivos de la Comisión Europea (CE) de la reducción de las emisiones de GEI en un 55% para 2030 y el alcance de la neutralidad climática en 2050, se ha fijado un objetivo de reducción de las emisiones en el sector del transporte del 7.5% para 2030 y del 86% para 2050⁹. Especialmente relevantes para alcanzar estos objetivos son el transporte aéreo y marítimo que representan, respectivamente, el 14.5% y el 13.5% de las emisiones totales del transporte en la UE. Así, dentro del paquete legislativo de la CE denominado “*Objetivo 55*”¹⁰.

Las rutas de conversión de electricidad de origen renovable en combustibles sintéticos, agrupadas bajo el nombre de *Power to X* (P2X), representan una de las opciones más prometedoras y viables para cubrir las necesidades del sector del transporte ¹¹

⁷ <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>

⁸ World Bank based on data from the UN Population Division, “World Development Indicators”.

⁹ Comisión Europea, COM(2020) 562 final, «Intensificar la ambición climática de Europa para 2030: Invertir en un futuro climáticamente neutro en beneficio de nuestros ciudadanos».

¹⁰ <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55/>, se encuentran iniciativas específicas para asegurar un transporte sostenible en el sector de la aviación (“ReFuelEU Aviation”).

¹¹ Götz et al. *Renewable Energy*, 85 (2016) 1371

Dichas rutas P2X permiten almacenar grandes cantidades de electricidad de origen renovable en forma de productos químicos que pueden usarse directamente como combustible o, alternativamente, como materia prima para diferentes procesos industriales. Entre los diferentes combustibles que pueden generarse mediante rutas P2X se encuentran gases (*Power-to-Gas*, **P2G**) tales como el hidrógeno o el metano y líquidos (*Power-to-Liquid*, **P2L**) como el metanol, el amoníaco o el diésel sintético. Para asegurar un impacto neutro en las emisiones netas de CO₂, en el caso de combustibles que contengan carbono, este debe ser de origen renovable. Es decir, debe provenir de procesos biogénicos (una fijación previa de CO₂ atmosférico por un organismo vivo) o captura de CO₂ en diversos procesos industriales. **Al conjunto de estos combustibles resultantes de procesos P2X basados en electricidad renovable y CO₂ de origen renovable se les denomina combustibles verdes** (otras denominaciones comunes son las de “combustibles renovables”, bio-fuels si el origen del CO₂ es biogénico o e-fuels si implica el uso de electricidad renovable).

Por su parte, los combustibles sintéticos líquidos son de especial relevancia en el ámbito del transporte pesado, dada su elevada densidad energética, donde otras alternativas de emisión cero resultan claramente insuficientes, e.g. baterías o hidrógeno. Además, al imitar las propiedades de los combustibles fósiles convencionales, estos pueden ser empleados en motores de combustión con ligeras adaptaciones (motores de combustible dual), lo cual es especialmente relevante en sectores donde la amortización de vehículos se da largo plazo y la renovación de la flota representa un coste elevado.

En concreto en el sector de la aviación, los **combustibles sostenibles de aviación (Sustainable Aviation Fuel, SAF)** son un tipo de combustibles utilizados en aviones a reacción y certificados como sostenibles por entidades independientes como la organización RSB. En los últimos años, los retos medioambientales se han convertido en uno de los puntos de mayor interés para el sector de la aviación, tanto a nivel mundial como local. La mitigación de los efectos ambientales y adversos de las actividades de transporte aéreo es uno de los cinco objetivos estratégicos de la OACI, en consonancia con las prácticas y

políticas del sistema de las Naciones Unidas. Además de esto tenemos la visión de la OACI sobre los combustibles sostenibles de aviación para 2050, aprobada en el CAAF/2, donde se reconoce el papel esencial y de los Estados en el fomento del desarrollo industrial de los combustibles sostenibles de aviación¹².

3.4.2 Proceso de co-electrolisis

Aunque el CO₂ es un notorio gas de efecto invernadero, también representa un material de partida valioso para muchos procesos industriales. Por lo tanto, reducir las emisiones de CO₂ y convertirlo en materiales útiles es una solución atractiva que elimina el efecto invernadero y produce almacenamiento de energía. Para este propósito se han desarrollado varios sistemas de tratamiento donde los sistemas más atractivos y prometedores logran la reducción de CO₂ a través de la conversión y utilización del mismo. En este sentido, la producción de combustibles a partir de CO₂ es muy atractiva, tanto ambiental como económicamente, ya que el mercado global de combustibles es importante y la fabricación de combustibles convierte volúmenes significativamente grandes de CO₂. Los enfoques típicos para la conversión de CO₂ incluyen la fotosíntesis, la fotocatalisis y la catálisis termocatalítica y electroquímica. Al comparar los diferentes tipos de conversiones, las conversiones electroquímicas son más atractivas tanto en términos de eficiencia energética como de coste.

Esto se debe a varias razones:

- (1) la producción de combustibles de hidrocarburos a partir de CO₂, agua y electricidad renovable puede lograrse para su uso como combustibles para el transporte;
- (2) el proceso es más preciso y fácil de controlar controlando los potenciales de los electrodos y las temperaturas de reacción;
- (3) los sistemas de conversión son compactos, altamente eficientes, modulares, bajo demanda y escalables; y
- (4) el proceso puede utilizar fuentes de energía limpia como la solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, etc., así como excedentes de electricidad de fuentes nucleares e hidroeléctricas.

¹² [Combustibles sostenibles de aviación | AESA-Agencia Estatal de Seguridad Aérea - MTMS](#)

Dentro de la conversión electroquímica se manejan dos enfoques principales: uno operando a bajas temperaturas y el otro operando a altas temperaturas. El diagrama esquemático de un SOEC para co-electrólisis de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ se muestra en la figura:

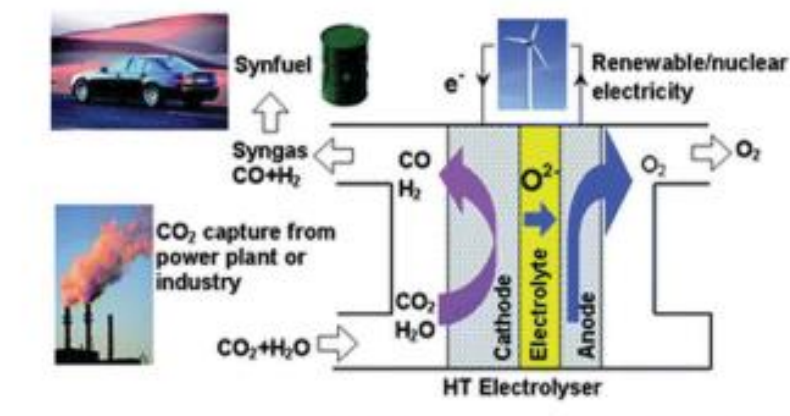


Figura 7. Proceso de obtención de syngas a partir de H_2 SOEC

El electrolizador de alta temperatura (SOEC) incluye un cátodo (un electrodo de combustible), un ánodo (un electrodo de oxígeno) y un electrolito denso (un electrodo iónico conductor), en el que $\text{CO}_2(\text{g})$ y $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ se introducen en el cátodo. Luego, los iones de óxido son conducidos a través del electrolito denso desde el cátodo hasta el ánodo. Finalmente se desprende oxígeno en el ánodo y se produce gas de síntesis en el cátodo. Como ya se ha mencionado, si el CO_2 utilizado proviene de capturar las emisiones de centrales eléctricas o industrias, el gas de síntesis producido no conlleva emisiones netas de gases efecto invernadero. En procesos posteriores (ej. Fischer – Tropsch), este gas de síntesis se puede transformar en combustibles verdes, convirtiendo así la electricidad renovable y emisiones de CO_2 en combustible.

La tecnología SOEC, por termodinámica, es la única que permite la co-electrólisis de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ de una manera eficiente, por lo que presenta un gran potencial para su acoplamiento con procesos PtX en cuanto a reducción de coste y mejora de la eficiencia. El hecho de generar gas de síntesis en un único proceso supone una mejora significativa frente a otras vías en las que, por un lado, es necesario generar H_2 verde y por otro CO .

Este gas de síntesis ($H_2 + CO$) es un portador de energía eficaz más allá de la electricidad que puede usarse para el almacenamiento de energía a gran escala. Sin embargo, su aplicación fundamental es la de materia prima para generar productos químicos o combustibles líquidos de alto valor añadido mediante la síntesis de Fischer-Tropsch (F-T). así, los combustibles producidos derivados de la co-electrólisis se pueden utilizar para generar energía, bien en procesos de combustión o, lo que es más interesante, dentro del mismo dispositivo SOEC funcionando en modo reversible (SOFC).

De acuerdo a lo estudiado por Minh y Mogensen, las SOEC tienen las siguientes características de interés de cara a la co-electrólisis:

- (1) compatibilidad (ambientalmente compatible con emisiones reducidas de CO_2)
- (2) flexibilidad (combustible flexible y adecuada para la integración con diversas fuentes de energía)
- (3) capacidad (puede usarse para diferentes funciones).
- (4) adaptabilidad (adecuado para una variedad de aplicaciones o diferentes necesidades energéticas locales).
- (5) asequibilidad (competitividad en costos).

El desarrollo de PtX como apuesta para la producción de combustibles renovables de origen no biológico, a partir de hidrógeno renovable, se considera un **proceso clave** en la búsqueda de sustitutos al Gas Natural y el syngas es el elemento fundamental de la mayoría de los procesos PtX con un alto interés industrial. Prueba de ellos es que aparece mencionado en la Hoja de Ruta del H_2 (MEDIDA 11 y MEDIDA 27)¹³; en la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027 (en el apartado "Clima, energía y movilidad")¹⁴.

El gas de síntesis renovable obtenido mediante co-electrólisis sustituye al petróleo crudo y al gas natural como materias primas. Como gas de alimentación, puede transformarse en muchos productos de hidrocarburos, incluidos productos químicos y combustibles electrónicos, sin necesidad de adaptar las

¹³ [Hoja de Ruta del Hidrógeno](#)

¹⁴ [Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027](#)

infraestructuras industriales y de transporte existentes. El impacto industrial viene avalado en las aplicaciones: e-fuels, químicos, y siderurgia.

La captura directa de aire (DAC en inglés) puede ser una fuente de dióxido de carbono para la **producción de electrocombustibles (e-Fuels)** incluido SAF. Las principales fuentes de energía y materias primas para la producción de los electrocombustibles son la electricidad renovable, el agua y el dióxido de carbono (CO₂). El CO₂ se obtiene de las emisiones de grandes empresas y se almacena mediante sistemas de captura de este gas. Existen diferentes métodos de síntesis para producir electrocombustibles, por ejemplo, la *síntesis Fischer-Tropsch (FT)* o la *síntesis de metanol (MeOH)*. En el ámbito de defensa los combustibles líquidos obtenidos tiene un gran interés.

En comparación con los biocombustibles, los **electrocombustibles** consigue mayores rendimientos por superficie cuando la energía procede de fuentes renovables, como la fotovoltaica y la eólica. La necesidad de agua para la producción de electrocombustibles también es significativamente menor en comparación con la producción de biocombustibles. Por lo tanto, los electrocombustibles puede considerarse una tecnología clave para permitir una producción de combustible totalmente sostenible y regenerativo para la aviación a largo plazo, al tiempo que se evitan los riesgos potenciales y los efectos secundarios adversos del uso energético de la biomasa cultivada y del uso de la tierra.

La tecnología SOEC permite a los proveedores de combustible, aerolíneas y empresas de logística producir de forma rentable diferentes mezclas de e-Fuel. Estos combustibles permitirán volar sin afectar al clima utilizando el CO₂ capturado y el agua como materias primas para producir un combustible totalmente renovable. El sistema mundial de certificación de combustible para aviones ASTM ya acepta una mezcla del 50% de e-Fuel con queroseno convencional. Así pues, el e-Fuel puede utilizarse ya hoy en todos los aviones.

Todo esto ha provocado que la asociación internacional de la aviación (IATA) **lo haya aprobado para su uso** y la Unión Europea haya establecido unos objetivos de uso hasta 2050:

- Utilización de un 2% en 2025.
- 5% mínimo en 2030.
- 32% mínimo en 2040.
- 63% mínimo en 2050.

3.5. GEMELOS DIGITALES

Los gemelos digitales son réplicas virtuales de objetos, sistemas o procesos del mundo real que se crean utilizando tecnologías habilitantes como la inteligencia artificial, la simulación computacional y la recopilación de datos en tiempo real. Estas réplicas digitales se utilizan para simular, monitorizar y optimizar el rendimiento de los objetos físicos, lo que permite a las empresas tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia de sus operaciones. Los gemelos digitales están compuestos por tres elementos. a) La parte física. b) La parte virtual. c) La conectividad entre ellas.¹⁵

La utilización de gemelos digitales ofrece las siguientes ventajas: (1) Optimización de procesos: Los gemelos digitales permiten simular y analizar diferentes escenarios antes de implementar cambios en la realidad; (2) Toma de decisiones informada: los gemelos digitales proporcionan datos en tiempo real y análisis detallados sobre el rendimiento de los activos físicos. Esto permite tomar decisiones informadas basadas en datos precisos y actualizados. Pueden anticiparse a problemas potenciales, tomar medidas preventivas y mejorar la planificación estratégica; (3) Reducción de costes y riesgos: al simular y probar prototipos virtuales se pueden minimizar los riesgos asociados con la implementación de nuevos productos o procesos.

¹⁵ [La Revolución de los Gemelos Digitales: Aplicaciones y beneficios para las pymes y autónomos | Acelera pyme](#)

4. INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO Y TECNOLOGÍA A APLICAR

El proyecto que aquí se presenta aporta una serie de innovaciones tecnológicas en el ámbito de la energía:

- I. Introducción de sistemas de generación renovable junto con sistemas de almacenamiento de energía eléctrica y térmica, así como sensórica para la toma de datos
- II. Sistema de control y gestión energética mediante algoritmos de optimización avanzados. Se valorará el uso de inteligencia artificial
- III. Desarrollo de modelo digital o Digital Twin que permitirá simular, monitorizar y optimizar el funcionamiento de la microrred
- IV. Integración de sistema de producción de hidrogeno mediante electrolisis de alta temperatura SOEC
- V. Co-electrólisis de CO₂ para la producción de syngas como precursor de e-fuels
- VI. Diseño y desarrollo de planta de producción de SAF a partir del syngas obtenido en la electrolisis SOEC.

En el caso de que este proyecto pueda llevarse a la práctica, proporcionará un entorno de pruebas que permita validar las soluciones propuestas; permitirá alimentar el Digital Twin con datos reales de forma que pueda proporcionar información muy valiosa tanto desde la perspectiva de la operación de la base como a nivel de mantenimiento de la misma.

Y permitirá validar así mismo la producción de SAF a partir de hidrógeno verde mediante electrolisis de alta temperatura para poderlo usar en bancos de pruebas.

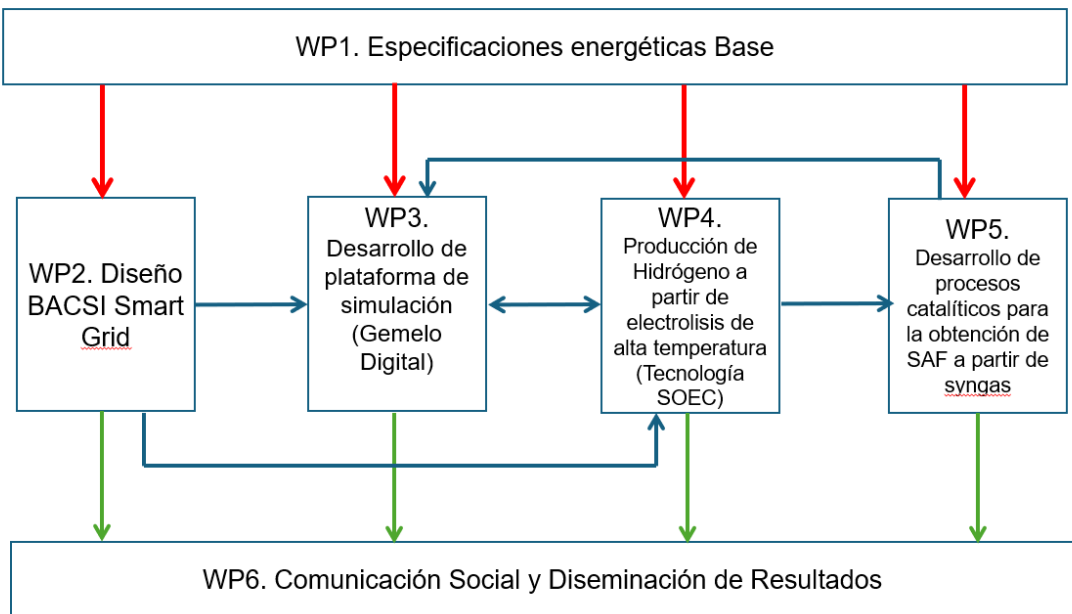
5. PLAN DE TRABAJO Y METODOLOGIA

5.1. CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WP1. Especificaciones Energéticas Base												
WP2. Diseño Smart Grid												
WP3. Desarrollo de plataforma de simulación (Gemelo Digital)												
WP4. Producción de Hidrogeno a partir de electrolisis SOEC												
WP5. Desarrollo de procesos catalíticos para la obtención de SAF												
WP6. Comunicación Social y Diseminación de Resultados												

5.2. METODOLOGIA

El proyecto se estructura en 6 paquetes de trabajo, cada uno con sus tareas correspondientes. La estructura de los paquetes de trabajo del proyecto, así como sus interrelaciones se muestra en la siguiente figura:



WP1	Especificaciones energéticas Base	
Duración	1 mes	M1 – M2
Objetivo		
El objetivo de esta actividad se centra en la definición de los requerimientos de los usuarios finales desde un punto de vista energético, así como la recopilación de los datos necesarios y en su caso la instalación de los sensores necesarios que permitan la obtención de la información.		
Descripción de las tareas		
T1.1 Análisis de Datos de Partida		
Se analizarán los datos de partida tanto a nivel de generación (renovable y no renovable); demanda (eléctrica y térmica); recurso solar y viento; necesidades de transporte, tarifas y precio mercado eléctrico y otros que resulten de interés. Si fuera necesario se instalarán sensores para la toma de datos y recopilación de información		
T1.2. análisis de los Requerimientos		
Se definirán cuales son las necesidades desde un punto de vista energético de la Base que permita en actividades posteriores diseñar la solución más adecuada		

WP2	Diseño BACSI Smart Grid	
Duración	6 meses	M2 – M8
Objetivo		
El objetivo de esta actividad se centra en el dimensionamiento y diseño de una microrred dentro de la Base Aérea. Se analizarán diferentes escenarios, considerando los activos energéticos ya existentes en un primer caso y un segundo análisis teniendo en cuenta posibles inversiones a corto/medio plazo.		
Descripción de las tareas		
T2.1 Diseño de microrred/es		
Basándonos en los datos de WP1 se definirá:		
- La configuración de la microrred, pudiéndose considerar (si tiene sentido) la división de la base en sub-microrredes pudiendo tener cada una de ellas una estrategia energética determinada. - La arquitectura optima de la/s microrred/es (ac, dc o mixta) y se dimensionaran el almacenamiento necesario para poder dar cobertura a las necesidades		
T2.2 Desarrollo de Sistema de Control y Gestión Energética		
Uno de los aspectos claves para alcanzar los objetivos de mejora de eficiencia de las infraestructuras está relacionada con la gestión de la energía. El EMS o sistema gestor va a permitir optimizar en función de diferentes criterios el uso de la energía generada en la instalación, así como el intercambio con la red. Por otra parte, y como parte del propio desarrollo se van a incluir estrategias que conviertan a determinados activos como elementos activos de la red participando en la gestión de la demanda, así como en mecanismos de flexibilidad. Tomando los resultados de T1.2 la estructura del sistema de control y gestión sería Caso (1) EMS Local para gestionar la microrred única de la Base (Figura 8) o Caso (2) EMS locales para cada sub-microrred y un EMS Cloud para la gestión de cada EMS Local (Figura 9). El desarrollo de la algoritmia cumplirá los protocolos de ciberseguridad definidos.		



Figura 8. Smart Grid BACSI EMS Local

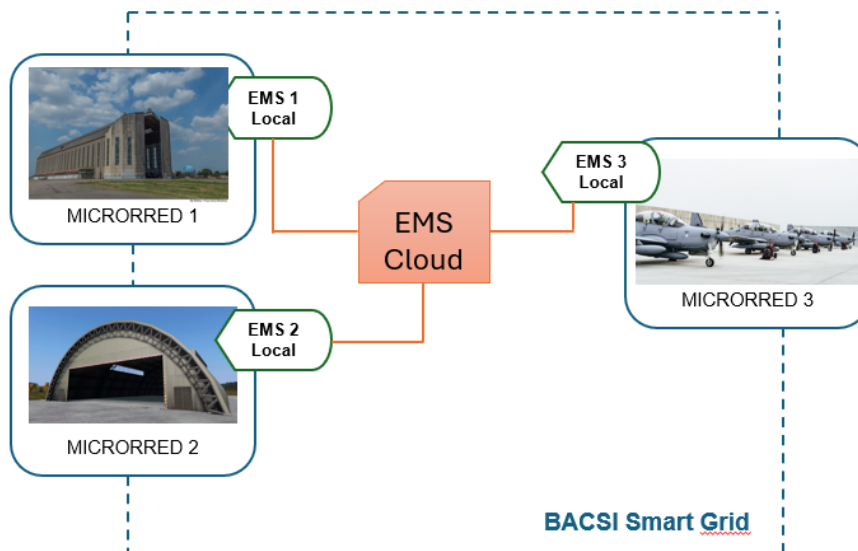


Figura 9. Smart Grid BACSI EMS Cloud

T2.3 Integración plataforma blockchain

Integrar la plataforma de blockchain GreenLedger dentro del EMS para **garantizar la trazabilidad de las transacciones energéticas** de manera que se pueda conocer el origen de la energía consumida en cada uno de los puntos de consumo

WP3	Desarrollo de plataforma de simulación (Gemelo Digital)	
Duración	7 meses	M3 – M10
Objetivo		
El objetivo de esta actividad se centra en el desarrollo de un gemelo digital de la instalación (Smart Grid BACSI definida en Actividad 1). Para desarrollar este GD se propone una arquitectura de dos etapas principales. La primera centrada en la interacción físico-virtual. Es decir, la encargada de recoger información en tiempo real, cuya sensoria se ha definido en Tarea 1.1. En una segunda etapa se implementará el GD mediante un conjunto de librerías de software que replican el comportamiento de la instalación. Una vez identificadas las variables de entrada/salida y el control de los principales componentes de la planta se abordará su modelado. Este se basará en soluciones algorítmicas e incluye desde los sistemas de generación eléctrica hasta la demanda de la energía junto con sistemas de almacenamiento, producción de hidrógeno y demanda para transporte, con el fin de asegurar al cliente el correcto dimensionamiento de la microrred, así como permitir analizar de forma acelerada la respuesta ante cambios en la configuración y eventos, operaciones de mantenimiento, etc.		
Descripción de las tareas		
T3.1 Recopilación de Información		
Basándonos en los equipos de la Tarea 2.1 se recopilará toda la información necesaria para el desarrollo de los modelos		
T3.2 Desarrollo de los modelos		
El GD se implementa como un conjunto de módulos independientes, interconectados entre sí, lo que facilita la implementación y la validación. Además, permite reemplazar los modelos por otros nuevos o actualizados sin afectar al conjunto. El objetivo de esta tarea es el desarrollo de los modelos de cada uno de los elementos y equipos que conforman la planta. Se utilizarán herramientas HIL/SIL de OPAL RT y Matlab Simulink.		

T3.3 Desarrollo sistema de comunicación

Existen multiplicidad de posibilidades de comunicación e infinidad de protocolos. Se pueden definir tres parámetros claves a considerar:

- Calidad: fiabilidad necesaria para la comunicación
- Rapidez: velocidad requerida para la comunicación
- Contexto del sistema real

En esta tarea se definirán el sistema y los protocolos de comunicación, se adaptarán las señales mapeadas a los protocolos de comunicación y se validarán las comunicaciones reales. Se asume que el modelo de GD desarrollado se comunicará directamente con el EMS.

T3.4 Definición de arquitectura e Integración

El objetivo de la tarea es integración de los modelos desarrollados en una plataforma que conforma el GD.

T3.5 Simulación y Validación

Es posible utilizar el gemelo digital para realizar simulaciones y análisis en tiempo real. Mediante el uso de algoritmos y modelos predictivos, se pueden evaluar diferentes escenarios y tomar decisiones. En esta tarea se realizarán diferentes simulaciones que sirvan además para la validación del propio GD.

Una vez desarrollado el GD y el programa de control el desarrollo de simulaciones nos servirá para validar las prestaciones de ambas partes. Estas simulaciones se pueden hacer con Software in the Loop (SiL) o con Hardware in the Loop (HiL).

WP4	Producción de Hidrógeno a partir de electrolisis de alta temperatura (Tecnología SOEC)	
Duración	10 meses	M1 – M10
Objetivo		
El objetivo de esta actividad se centra por una parte en el desarrollo de un electrolizador SOEC de 5 kW con capacidad de producir syngas para su uso posterior en procesos de síntesis de SAF. Además de la optimización de las condiciones de operación de las celdas SOEC para su uso en modo co-electrolisis.		
Descripción de las tareas		
T4.1. Estudio y optimización de la operación de celdas y stacks SOEC alimentadas con syngas		
Se estudiará la compatibilidad de stacks comerciales en operación con las diferentes mezclas de CO ₂ y H ₂ O, analizando celdas con varias configuraciones (ej. soportadas en ánodo/electrolito, diferentes espesores de ánodo, con electrodos de aire de base de LSC/LSCF16,) y materiales para estudiar su rendimiento en las condiciones del proyecto. Tras ello se analizará el efecto de las condiciones de operación (temperatura de operación, cantidad de vapor, proporciones entre gases, condiciones de corriente combustible/aire, etc.) en el rendimiento y vida útil de las celdas, cuantificándolos mediante curvas intensidad voltaje (curvas i-V), impedancia y medición de la resistencia específica por área (ASR) y variación del voltaje de operación con el tiempo (caracterizado en $\Delta V/1000\text{ h}$)		
T4.2. Diseño y construcción de un co-electrolizador SOEC		
Se diseñará un sistema completo SOEC de 5 kW para su uso en co-electrolisis que incluirá, además del stack SOEC, otros componentes auxiliares necesarios para la operación de un sistema completo, tales como: i) el horno o hotbox de alta temperatura donde se alojan los stacks, ii) la vaporización, iii) la canalización y el control de los gases del sistema mediante tubería/racorería/valvulería o iv) la electrónica de potencia necesaria para la adecuación de la corriente eléctrica generada. Las etapas en el desarrollo del		

¹⁶ LSC: Lanthanum strontium cobalt ferrite; LSCF: Lanthanum strontium cobalt ferrite

prototipo incluyen: (i) ingeniería conceptual, donde se definirá el diseño a desarrollar, se generará un diagrama P&ID preliminar y se hará un análisis normativo y HAZID/HAZOP para asegurar la seguridad del sistema. (ii) P&ID detallado (ii) selección de equipos (iv) diseño del lay out. En esta fase de ingeniería de detalle se prestará atención a la posible integración de este sistema con el resto de los componentes para asegurar su compatibilidad y la maximización de la eficiencia global del conjunto. Tras la adquisición y construcción del sistema, se harán pruebas de arranque independientes.

WP5	Desarrollo de procesos catalíticos para la obtención de SAF a partir de syngas	
Duración	6 meses	M6 – M12
Objetivo		
El objetivo de este paquete de trabajo es doble. Por una parte, aplicar procesos catalíticos a escala de laboratorio para la síntesis de combustible SAF y validar el acoplamiento con el proceso de co-electrolisis y por otra desarrollar estrategias de purificación y acondicionamiento de la corriente de syngas para adecuarla a las reacciones de síntesis química de los combustibles.		
Descripción de las tareas		
T5.1. Definición de requerimientos y formulación de catalizadores de síntesis		
Se llevará a cabo una revisión bibliográfica de catalizadores de síntesis directa de SAF, y se formularán los catalizadores más adecuados para cada combustible, evitando en la medida de lo posible el uso de materiales críticos. Además, se definirán los requerimientos de purificación y acondicionamiento del syngas para lograr composiciones optimizadas para la síntesis del SAF.		
T.2. Desarrollo de catalizadores con corrientes de syngas		
Esta tarea se centrará en la preparación, caracterización y ensayos de evaluación del comportamiento de los catalizadores con corrientes sintéticas de 'syngas' ricas en CO ₂ y diferentes composiciones (H ₂ :CO:CO ₂). Tras esto se hará una caracterización del syngas obtenido en el proceso de coelectrolisis y se determinará si es necesario modificar las condiciones de operación del sistema de co-electrolisis. Además, se prestará atención a los procesos de purificación y acondicionamiento del syngas, si fueran necesarios.		
T5.3. Ensayos de evaluación del comportamiento de los catalizadores		
Los catalizadores se ensayarán con corrientes de syngas purificadas y en base a las propiedades el SAF obtenido, se seleccionarán los catalizadores más adecuados y se procederá a la obtención de grandes lotes de SAF, que serán caracterizados en detalle.		

WP6	Comunicación Social y Disseminación Resultados	
Duración	12 meses	M1 – M12
Objetivo		
La comunicación social es el conjunto de procesos, estrategias y acciones mediante los cuales una empresa se comunica tanto interna como externamente. Esto incluye la gestión de la imagen, la transmisión de valores y mensajes, y la interacción con diferentes públicos. El objetivo por lo tanto de este paquete de trabajo es dar visibilidad e informar tanto de los objetivos del proyecto (al inicio) como de los resultados del proyecto tanto a nivel interno como a nivel externo. La transición energética es una revolución desde el punto de vista económico, pero también social y medioambiental. Por ello se hace necesario una correcta estrategia de comunicación que permita transmitir solidez, compromiso y corresponsabilidad.		
Descripción de las tareas		
T6.1. Definición del plan de disseminación y divulgación		
Se definirán todas las actividades a realizar para poder mostrar y explicar los objetivos del proyecto y los resultados y avances del proyecto tanto a nivel de personal de la propia base y otras bases como a nivel de la sociedad civil.		
T.2. Implementación de las actividades de disseminación		
En esta tarea se realizarán y llevarán a cabo todas las actividades planificadas en T6.1, entre las cuales habrá jornadas informativas, sesiones específicas, artículos, notas de prensa, videos divulgativos, paneles informativos, etc.		

6. PRESUPUESTO

El presupuesto del proyecto de desarrollo asciende a 240.000 euros. En el caso de llevarse a la práctica sería necesario incluir las inversiones necesarias en equipación e infraestructura.

7. VALORACION DEL IMPACTO DE LA PROPUESTA EN BACSI

El proyecto que aquí se presente aborda uno de los aspectos importantes desde el punto de la sostenibilidad y la transición energética. El Ministerio de Defensa publicó su primera estrategia oficial de "Defensa Sostenible" en 2021. Esto supuso un cambio significativo, al reconocer que la seguridad a largo plazo depende de una gestión responsable de los recursos y de minimizar el impacto medioambiental.

COMBINA aporta una solución a BACSI para responder a dos de sus premisas Sostenible e Inteligente.

Lo hace apoyándose en dos de los pilares de la Estrategia de Defensa:

- **Eficiencia de los recursos: Reducir el consumo de energía.** Mediante el uso de energías renovables y su integración en un sistema gestor de la energía (EMS) se puede optimizar el uso de la energía, consiguiendo no solo minimizar el consumo sino hacerlo de forma mas eficiente y aumentando la penetración de las energías renovables en las bases aéreas
- **Innovación y tecnología:** Invertir en investigación y desarrollo de tecnologías de defensa sostenibles. COMBINA presenta a través de tecnología innovadora la capacidad de producir combustibles renovables a partir de la electrolisis del agua a alta temperatura. La capacidad de una co-electrolisis aporta una solución optima e innovadora que junto a procesos catalíticos permiten la obtención de SAF.

Ambos objetivos permiten reducir las emisiones y llevar a las bases aéreas a minimizar su impacto medioambiental mediante el uso de renovables y el uso de combustibles verdes.

Por otra parte, la posibilidad de disponer de un modelo digital de la base da la oportunidad de introducir procesos de mejora tanto en la operación de la misma como en el mantenimiento.

Además, y puesto que la bases estaría sensorizada, permitirá monitorizar en tiempo real el comportamiento de las bases desde un punto de vista energético con lo que dar información muy valiosa para el futuro. Y además alimentara al modelo de forma que aprenda y pueda irse adaptando a las nuevas necesidades y a la inclusión en el futuro de nuevas tecnologías.