

MISIONES CIENCIA E INNOVACIÓN - CDTI 2022 - NGEU

# Desarrollo e integración de pilas de combustible de óxido sólido en microrredes basadas en hidrógeno verde

## ***SOFC4GreenGrid***

LÍDER:



SOCIOS:



COLABORADORES:



## Índice

<b>0. RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>3</b>
<b>1. OBJETIVOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL PROYECTO E INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO</b>	<b>5</b>
1.1 ADECUACIÓN DEL PROYECTO A LOS RETOS TECNOLÓGICOS DE LA MISIÓN SELECCIONADA.....	5
1.2 RELACIÓN DE LOS INDICADORES CUANTITATIVOS PROPUESTOS CON LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	16
1.3 PLAN DE TRABAJO .....	18
1.4 ELEMENTOS INNOVADORES DEL PROYECTO .....	28
1.5 TAREAS REALIZADAS POR ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN .....	34
1.6 PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....	39
1.7 ESTRATEGIA DE GENERACIÓN Y PLAN DE GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL E INDUSTRIAL .....	43
1.8 FUTURAS ACTUACIONES DE I+D COMO CONSECUENCIA DEL PROYECTO .....	43
<b>2. CAPACIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL CONSORCIO</b>	<b>45</b>
2.1 ADECUACIÓN DEL PROYECTO A LAS ACTIVIDADES Y ESTRATEGIA DEL CONSORCIO. DESCRIPCIÓN DEL GENERAL DEL CONSORCIO .....	45
2.2 EQUILIBRIO Y COMPLEMENTARIEDAD DEL CONSORCIO .....	47
2.3 EXPERIENCIAS PREVIAS EN COOPERACIÓN TECNOLÓGICA .....	50
2.4 CAPACIDADES DEL CONSORCIO PARA ASEGURAR EL DESARROLLO DEL PROYECTO .....	52
2.5 ADECUACIÓN DEL PRESUPUESTO AL TAMAÑO Y CAPACIDAD DEL CONSORCIO .....	54
<b>3. IMPACTO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL</b>	<b>57</b>
3.1 IMPACTOS POSITIVOS SOBRE EL MEDIOAMBIENTE Y LA CALIDAD DE VIDA DE LOS CIUDADANOS.....	57
3.2 CONTINUIDAD DEL PROYECTO .....	59
3.3 CREACIÓN DE EMPLEO .....	61
3.4 INVERSIÓN PRIVADA MOVILIZADA .....	62
3.5 MEDIDAS DE LAS EMPRESAS HACIA LA IGUALDAD DE GÉNERO Y LA INCLUSIÓN SOCIAL .....	63
3.6 IMPACTO SOBRE LA COMPETITIVIDAD DE LAS EMPRESAS DEL CONSORCIO .....	66

## 0. RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto SOFC4GreenGrid se enmarca en la **misión 1: reforzar capacidades tecnológicas para la autonomía energética sostenible (fusión, hidrógeno y renovables)**, y está basado en la investigación y desarrollo industrial de tecnologías de almacenamiento de energía verde, específicamente en las pilas de combustible de óxido sólido (en adelante, SOFC) que permiten transformar la energía química del hidrógeno verde en eléctrica. Las tareas que plantea SOFC4GreenGrid permiten aplicar tecnologías innovadoras (hidrógeno verde, sistemas SOFC) e integrarlas de manera eficiente para el **desarrollo de un nuevo sistema SOFC de hasta 50 kW para la reconversión de hidrógeno verde a electricidad, de manera eficiente, ecológica, sostenible y altamente innovadora que tendrá un efecto altamente positivo en la competitividad, eficiencia y reducción del impacto ambiental tanto de las empresas que forman el consorcio, como de una gran variedad de sectores productivos.**

Las **SOFC** reciben su nombre por el uso de un material de óxido sólido como electrolito. Su alta eficiencia y densidad energética la perfilan **como una potencial alternativa** como soporte energético en **aplicaciones domésticas, industriales y comerciales**, donde además el calor residual de la pila de combustible se puede utilizar para otras aplicaciones tales como calefacción. Se trata de una forma muy eficiente de utilizar estas pilas, ya que **la eficiencia combinada puede alcanzar más del 80%.**

Actualmente, este tipo de tecnología se encuentra en estadio de madurez tecnológica temprana debido a una serie de limitaciones en cuanto a su producción a gran escala de manera rentable. Por ello, el principal **reto tecnológico** es superar el estado del arte actual, desarrollando **una tecnología que no solo sea más eficiente que las alternativas actuales, sino que además tenga una rentabilidad económica superior a las presentes en el sector.** Por un lado, se investigarán y desarrollarán una serie de celdas basadas en materiales totalmente disruptivos en el estado del arte y/o procesos de fabricación innovadores que permitan optimizar la microestructura y, por ende, el rendimiento electroquímico de los componentes funcionales de la celda. Por otro lado, basándose en determinados aspectos del estudio anterior, otras investigaciones y materiales cerámicos existentes se realizará la investigación y desarrollo de sistemas SOFC de hasta 50 kW, a partir de “stacks” de 2 kW e incorporando el balance de planta del sistema, posibilitando así la fabricación de dispositivos innovadores que logren mejorar las propiedades de estos sistemas hasta los niveles reflejados en los indicadores del proyecto o, idealmente, en mayor grado.

Además, los resultados de SOFC4GreenGrid serán la **base para nuevas investigaciones en tecnologías orientadas hacia desarrollos que supongan una mejora en la autonomía energética sostenible en general y, de manera más concreta, para la tecnología de pilas SOFC y similares** (e.g. electrolizadores de alta temperatura tipo SOEC). Esto supone una gran ventaja no sólo para las empresas que desarrollan estas tecnologías, sino una mejora a nivel transversal para todas las empresas que serán usuarios finales de las mismas de cara a llevar a cabo proyectos de una manera más sostenible.

Se trata por tanto de un **proyecto estratégico en cooperación entre pymes** que pretende desarrollar un proyecto de referencia en el sector que defina las bases y los requisitos de aplicación para este tipo de productos. El consorcio está formado por una mediana empresa y tres pequeñas empresas con amplia experiencia para llevar a cabo las actividades del proyecto, por lo que se encuentra equilibrado. El proyecto está liderado por **INGENIERÍA Y DISEÑO ESTRUCTURAL AVANZADO, SL (IDEA)**, especializada en BIM en sectores industrial, Oil & Gas, Minería, Energético y Arquitectónico; **REGENERA LEVANTE, SL (REGENERA)**, dedicada al desarrollo de soluciones integrales para aumentar la eficiencia energética de las instalaciones; **VODIK GREEN ENERGY S.L (VODIK)**, empresa cuyo objetivo está en el mercado del hidrógeno y su potencial como vector energético; y finalmente **GREEN GROUPING ENERGÍA S.L. (GGE)** siendo su actividad principal las energías renovables, tecnologías de hidrógeno y las pilas de combustible.

Adicionalmente, se cuenta con la participación de **Organismos de Investigación, Centros Tecnológicos y Universidades**, que serán clave para llegar al grado de innovación planteado en el proyecto. Las entidades en cuestión propuestas son: **Centro Nacional De Energías**

**Renovables (CENER); Universidad Complutense de Madrid (UCM); Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón-CSIC (INMA-CSIC) y la Universidad CEU San Pablo (CEU).**

En este sentido, los integrantes del proyecto van a **realizar investigaciones en materiales y métodos de fabricación innovadores**. Los materiales se basarán en elementos abundantes en la naturaleza que supongan una reducción sustancial de los costes de producción, así como **desarrollo de nuevos diseños y ensamblado de prototipos comercializables de sistemas SOFC** que se beneficien de las investigaciones anteriores para conseguir una eficiencia eléctrica excepcional. Esto posibilitará la comercialización futura a gran escala de un dispositivo innovador para la producción de electricidad limpia a partir de hidrógeno verde, con un gran impacto transversal en la sostenibilidad e innovación de todas las industrias que serán los usuarios finales en el uso del hidrógeno, así como una mejora sustancial en la cadena de valor industrial del hidrógeno verde y su potencial energético. Todo lo anterior, **supondrá la apertura hacia un nuevo mercado centrado en el hidrógeno verde y las pilas SOFC** como alternativas viables encaminadas al incremento de eficiencia energética con bajo impacto medioambiental, además de incrementar la competitividad de las empresas, tanto a nivel técnico como económico.

El desarrollo de los objetivos planteados se llevará a cabo a través de **dos actividades de Investigación Industrial**, una de ellas centrada en el desarrollo de materiales innovadores y otra en la investigación de mejoras sustanciales de las prestaciones de celdas y stacks SOFC, **cuya tecnología está despegando a nivel mundial y no existe ninguna empresa que la comercialice en España**. Los desarrollos en dichas áreas tecnológicas se integrarán en **tres actividades de Desarrollo Experimental** centradas en el diseño, prototipado, integración y la validación experimental (TRL5-6) en un entorno relevante de la

industria productiva, demostrando la aplicabilidad y capacidad de explotación de los mismos. SOFC4GreenGrid tiene previsto su **inicio el 1 de octubre de 2022**, con una **duración estimada de 27 meses**, hasta el 31 de diciembre de 2024. El presupuesto asciende a un total de **2.835.691 €**. Para facilitar la comprensión del proyecto y la interrelación de las actividades, se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Por otra parte, SOFC4GreenGrid tendrá un impacto positivo en el empleo, estimándose la **creación de empleo neto de 13 nuevos puestos de trabajo** en el contexto de la ejecución del proyecto y una **movilización importante de inversión privada**. Además, pondrá en marcha **acciones a favor de la igualdad de género** tanto a lo largo del desarrollo del proyecto, como en acciones futuras, ayudando a reducir o eliminar las desigualdades detectadas y contribuyendo a lograr los objetivos de las políticas de igualdad planteadas por los socios del consorcio.

En definitiva, el SOFC4GreenGrid contribuirá a la transición verde de la industria en consonancia con los objetivos planteados con la Hoja de Ruta del Hidrógeno del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en 2020, además de estar alineados con las necesidades económico-sociales del panorama actual. Concretamente a través de la valorización del hidrógeno como vector energético y las energías renovables como palanca fundamental para fomentar la autonomía energética, el crecimiento energético y la innovación en una gran variedad de sectores.

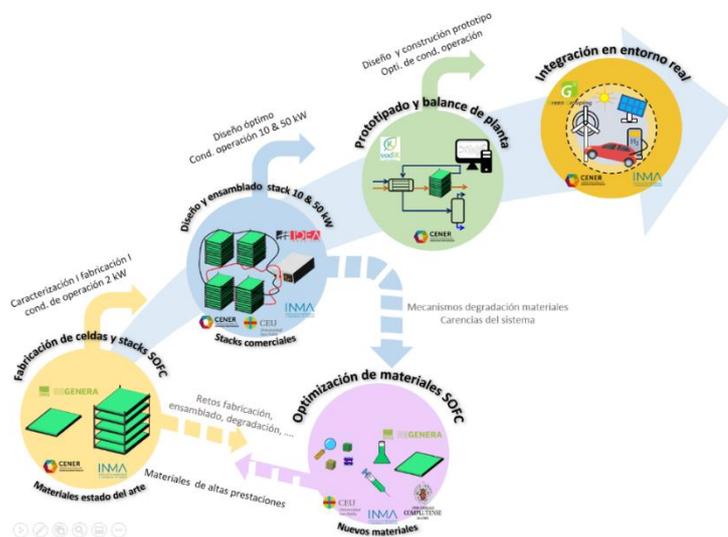


Figura 1. Interrelación de las actividades del proyecto

## 1. OBJETIVOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL PROYECTO E INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO

### 1.1 ADECUACIÓN DEL PROYECTO A LOS RETOS TECNOLÓGICOS DE LA MISIÓN SELECCIONADA.

#### 1.1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

La Hoja de Ruta del Hidrógeno elaborada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en 2020<sup>1</sup> afirma que la condición del hidrógeno como vector energético y su alta versatilidad le otorga la aptitud de situarse como una herramienta clave para la integración de los diferentes sectores energéticos, lo que favorecerá una mayor flexibilidad, disponibilidad y seguridad energéticas, así como una mayor eficiencia y rentabilidad en la transición energética, contribuyendo a la descarbonización de la economía. Esta Hoja de Ruta tiene como objeto identificar los retos y oportunidades para el pleno desarrollo del hidrógeno renovable en España, proporcionando una serie de medidas destinadas a impulsar la acción inversora. La Hoja de Ruta del Hidrógeno prevé una contribución mínima del 25% de hidrógeno renovable respecto del total consumido en la industria para el año 2030. Por otra parte, el almacenamiento de energía a corto y largo plazo puede materializarse mediante la utilización del hidrógeno renovable como vector energético, facilitando el uso de las infraestructuras existentes. En este sentido, la Estrategia de Almacenamiento Energético<sup>2</sup> y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC 2021-2030)<sup>3</sup> reconocen el papel de las aplicaciones del hidrógeno renovable en pilas de combustible o como elemento intermedio en tecnologías Power to X.

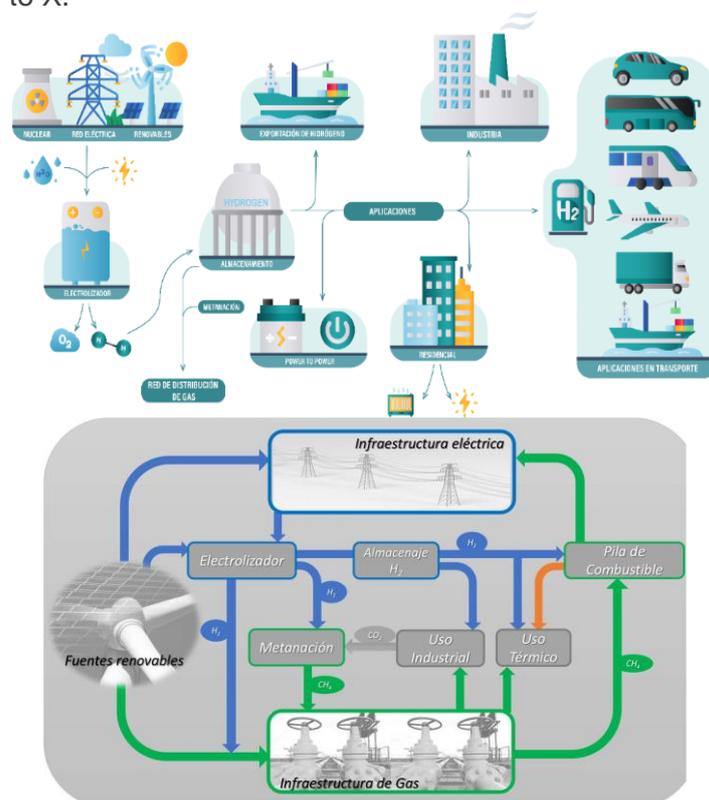


Figura 2. Cadena de valor del hidrógeno<sup>4</sup>. Principales rutas industriales para el del H<sub>2</sub> verde<sup>5</sup>

Dentro de la cadena de valor del hidrógeno (Figura 2), en la etapa de usos o aplicaciones, el objetivo es aprovechar las ventajas que ofrece el hidrógeno en aplicaciones estacionarias o

<sup>1</sup> [https://energia.gob.es/es-es/Novedades/Documents/hoja\\_de\\_ruta\\_del\\_hidrogeno.pdf](https://energia.gob.es/es-es/Novedades/Documents/hoja_de_ruta_del_hidrogeno.pdf)

<sup>2</sup> [https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategiaalmacenamiento\\_tcm30-522655.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategiaalmacenamiento_tcm30-522655.pdf)

<sup>3</sup> [https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto\\_tcm30-508410.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf)

<sup>4</sup> <https://www.ariema.com/informacion-sobre-hidrogeno#>

<sup>5</sup> <https://static.pte-ee.org/media/files/documentacion/itp-01-2020-el-hidrogeno-como-vector-para-la-mejora-de-la-eficiencia-energetica-en-un-6YW.pdf>

en transporte. Aquí es donde entran en juego las **pilas de combustible**: dispositivos que permiten transformar la energía química (hidrógeno) en energía eléctrica. Aunque existen diferentes tecnologías asociadas a estas pilas, las que presentan mejores resultados y mayor potencial son:

- **Pilas de membrana de intercambio de protones (PEMFC)**, con capacidad de operación a baja temperatura, alta densidad de corriente y potencia, flexibilidad y el hecho de ser un medio compacto para la generación de energía.
- **Pilas de óxido sólido (SOFC)**, que reciben su nombre por el uso de un material de óxido sólido como electrolito. Su alta eficiencia y densidad energética suponen dos grandes fortalezas que las posicionan como una potencial alternativa para **aplicaciones estacionarias domésticas y comerciales de suministro de electricidad**, donde el calor residual de la pila de combustible se usa para calefacción. Es de una forma muy eficiente de utilizar estas pilas, ya que **la eficiencia combinada puede alcanzar más del 80%**.

Sin embargo, el coste plantea un reto a superar en los próximos años para lograr su mayor adopción. Exige de una **producción a gran escala de las pilas de combustible para lograr niveles de rentabilidad que hagan atractiva la adopción de estas tecnologías**.

El proyecto SOFC4GreenGrid responderá a los retos para el desarrollo del hidrógeno como vector energético recogidos en la Hoja de Ruta antes mencionada, en lo que respecta a la producción y uso del hidrógeno renovable, con miras a posicionar a España como referente tecnológico y crear cadenas de valor innovadoras, centrándose en la etapa de aplicaciones mediante el desarrollo de pilas de combustible de óxido sólido SOFC con nuevos materiales y su integración en microrredes.

Por otra parte, el programa Misiones Ciencia e Innovación está alineado con la iniciativa España 2050<sup>6</sup>, que asienta los fundamentos y propuestas para una estrategia nacional de largo plazo, anticipando los principales retos y problemas a los que debe hacer frente España en los próximos 30 años. Las misiones seleccionadas en esta convocatoria abordan aspectos relevantes de dos de los nueve desafíos planteados en España 2050: el primero “ser más productivos para crecer mejor” y el cuarto “convertirnos en una sociedad neutra en carbono, sostenible y resiliente al cambio climático”. Así pues, el proyecto SOFC4GreenGrid se enmarca en la **Misión 1 del programa Misiones Ciencia e Innovación para reforzar capacidades tecnológicas para la autonomía energética segura y sostenible** (fusión, hidrógeno y renovables), y más concretamente, en los ámbitos de actuación del **hidrógeno verde [Ámbito Actuación 1.2] y las energías renovables [Ámbito Actuación 1.3]** (ver sección 1.1.6) de esta convocatoria de ayudas de 2022.

En definitiva, el proyecto sumará esfuerzos en el **posicionamiento del hidrógeno renovable como una de las alternativas para contribuir a la descarbonización de la economía**, gracias a su capacidad de proporcionar un suministro energético flexible, adaptado y continuo, principalmente en aplicaciones estacionarias para el sector residencial e industrial. Para ello, este proyecto ha formado un consorcio de **4 empresas especializadas en cada una de las áreas de investigación** y cuenta con la participación relevante de diferentes organismos de investigación, centros tecnológicos y universidades que garantizan el alcance de los objetivos disruptivos que se proponen (Tabla 1).

Tabla 1. Consorcio empresarial y organismos de investigación del proyecto

NOMBRE EMPRESA	ACRÓNIMO	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
INGENIERIA Y DISEÑO ESTRUCTURAL AVANZADO, S.L. (Coordinador)	IDEA	Ensamblado stacks SOFC
REGENERA LEVANTE, S.L.	REGENERA	Fabricación celdas y stacks SOFC con nuevos materiales
VODIK GREEN ENERGY S.L.	VODIK	Prototipado sistema SOFC

<sup>6</sup> [https://www.lamoncloa.gob.es/presidente/actividades/Documents/2021/200521-Estrategia\\_Espana\\_2050.pdf](https://www.lamoncloa.gob.es/presidente/actividades/Documents/2021/200521-Estrategia_Espana_2050.pdf)

<b>GREEN GROUPING ENERGIA S.L.</b>	GGE	Integración sistema SOFC
<b>ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN</b>		
<b>Centro Nacional De Energías Renovables</b>	CENER	Fabricación, ensamblado e integración de sistemas SOFC
<b>Universidad Complutense Madrid</b>	UCM	Nuevos materiales, caracterización microestructural y electroquímica. Ensamblado y caracterización de celdas SOFC
<b>Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón-CSIC</b>	INMA-CSIC	Fabricación de celdas, ensamblado e integración de pequeños stacks SOFC. Caracterización electroquímica de celdas y stacks
<b>Universidad CEU San Pablo</b>	USP-CEU	Nuevos materiales: caracterización estructural y estabilidad. Escalado de síntesis. Estudio de degradación de nuevos materiales y stacks. Análisis de materiales en stacks comerciales y sus prestaciones

El **OBJETIVO GENERAL** del proyecto es la **investigación y el desarrollo de un novedoso sistema de conversión de hidrógeno verde en electricidad de potencias de hasta 50 kW** mediante la **optimización microestructural de cada componente de la celda, proceso de fabricación, balance de planta y otros parámetros críticos de pilas de combustible de óxido sólido (SOFC, por sus siglas en inglés)** y tareas de **investigación industrial basadas en materiales cerámicos innovadores con el objetivo de optimizar la eficiencia y sostenibilidad del mismo**. El sistema se basará en el **acoplamiento de módulos SOFC de ~2 kW en sistemas de potencia modulable**, por lo que el proyecto plantea actividades de investigación y desarrollo para lograr:

1. **Investigación, desarrollo y optimización de módulos SOFC de 2 kW basados en tecnología propia**, incluyendo la evaluación de nuevos materiales y/o procesos de fabricación innovadores para su posterior integración como electrodos de aire en las pilas.
2. **Investigación y desarrollo de sistemas SOFC de hasta 50 kW**: ensamblado de módulos SOFC hasta la potencia deseada, balance de planta y optimización de parámetros de funcionamiento en entornos reales.

De esta forma, el proyecto pretende desarrollar las capacidades necesarias para la fabricación de prototipos SOFC de (hasta) 50 kW, desde la fabricación de celdas unidad, su ensamblado en módulos de potencia intermedia (~2 kW) y la integración del balance de planta en sistemas de conversión de hidrógeno en electricidad de potencia modulable, para su integración directa en redes y microrredes basadas en hidrógeno verde. De manera general se puede decir que para lograr los objetivos del proyecto se va a realizar:

- Por un lado, una serie de tareas de investigación que permitirán la fabricación de módulos ("stack") SOFC con materiales, diseños **y/o métodos de fabricación a desarrollar por el consorcio del proyecto evaluando a su vez la eficacia de materiales disruptivos**.
- A la par, se logrará el **desarrollo de un primer sistema de 50 kW basado en stacks SOFC de potencia intermedia (~2 kW)**, incorporando el diseño y optimización del balance de planta, el acoplamiento de stacks y el control.

Para alcanzar el objetivo general y generar un elevado impacto en los retos tecnológicos de la misión 1, se han establecido los siguientes **OBJETIVOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS**:

**OE1: Establecimiento de un procedimiento de fabricación de celdas y stacks SOFC a partir de materiales cerámicos en polvo, para la producción de "stacks" de potencia ~2 kW. [Ámbito Actuación 1.2].** El procedimiento describirá el proceso de preparación de tintas cerámicas, depósito de capas funcionales y procesos de sinterizado, así como el proceso de corte, apilamiento y sellado de celdas para fabricación de stacks.

**OE2: Implementación y puesta a punto de las infraestructuras necesarias para el diseño, ensamblado, testeo y validación de sistemas SOFC a partir de "stacks" prefabricados. [Ámbito Actuación 1.2].** La infraestructura constará de: (i.) capacidades de

diseño y modelizado de sistemas SOFC, (ii.) equipamiento para el testeo y validación de stacks SOFC de ~2 kW y (iii.) equipamiento para el ensamblado, integración y fabricación del sistema SOFC completo incluyendo todos aquellos componentes adicionales a los stacks SOFC requeridos para el funcionamiento del sistema.

**OE3: Integración de sistemas SOFC desarrollados en el proyecto en entornos reales como prueba de concepto para su posterior comercialización. [Ámbitos Actuación 1.2 y 1.3].** Instalación y puesta a punto de los sistemas SOFC en dos entornos preseleccionados. Integración con los dispositivos ya existentes y puesta en funcionamiento para su validación.

Los **OBJETIVOS OPERATIVOS** del proyecto SOFC4GreenGrid son los siguientes:

**OO1: Desarrollo de celdas y “stack” SOFC de geometría planar de hasta 2 kW. [Actividad 1].** Producción de celdas unidad SOFC de 5x5 cm<sup>2</sup>, incluyendo la puesta a punto de la preparación de tintas cerámicas a partir de polvos cerámicos (capacidad de producción de 500 ml / lote), así como la impresión de capas delgadas funcionales mediante serigrafía y/o colado en tinta. Cómo fabricar la celda y el “stack”, donde parámetros como la optimización de la microestructura de cada componente de la celda, proceso de fabricación, combinación de materiales etc. son críticos para maximizar el rendimiento de la pila. Ensamblado de “stacks” mediante el apilamiento de celdas, aumentando gradualmente la potencia del dispositivo hasta 2 kW en función del número de celdas apiladas (apilamiento de entre 20 y 50 celdas en varios módulos). Validación electroquímica del dispositivo, incluyendo estudios de degradación (< 2 % / 1000 h) y optimización de las condiciones de operación (temperatura y composición del combustible de entrada).

**OO2: Identificación y análisis de integración de nuevos materiales cerámicos para la fabricación de celdas SOFC optimizadas. [Actividad 2].** Identificación de materiales cerámicos innovadores a partir del estudio del estado del arte en materiales para SOFC, incluyendo electrolito, electrodo de aire y electrodo de hidrógeno. Estudio teórico de escalado y aplicabilidad de los prototipos a escala laboratorio. Prueba de concepto y optimización del proceso de síntesis de materiales seleccionados y análisis de la capacidad de producción a gran escala para su implementación en procesos de fabricación de celdas SOFC.

**OO3: Desarrollo de celda SOFC de geometría planar con materiales innovadores a escala de laboratorio, como prueba de concepto para la implementación de estos materiales a escala. [Actividad 2].** Fabricación de celdas unidad SOFC de 5x5 cm<sup>2</sup>, incluyendo la puesta a punto de la preparación de tintas cerámicas a partir de materiales innovadores seleccionados (capacidad de producción de 50 ml / lote), así como la impresión de capas delgadas funcionales mediante serigrafía y/o colado en tinta a escala de laboratorio. Validación electroquímica del dispositivo y comparativa con las celdas basadas en materiales estado del arte. Se establecerá una **mejora de al menos el 10% en la potencia generada** (mismas condiciones de operación) para seleccionar un material como potencialmente escalable para la producción de “stacks” SOFC.

**OO4: Análisis y ensamblado de “stacks” SOFC comerciales de ~2 kW para la fabricación de sistemas SOFC de 10 a 50 kW. [Actividad 3].** Análisis de mercado de “stacks” SOFC comerciales, selección y adquisición en función de su rendimiento (W/cm<sup>2</sup>), degradación (% / 1000 h) y condiciones de operación óptimas (temperatura y combustible). Validación electroquímica de los “stacks” seleccionados. Modelizado y diseño de sistemas SOFC de 10 a 50 kW: optimización del ensamblado de los “stacks” seleccionados.

**OO5: Diseño y desarrollo de sistemas SOFC de hasta 50 kW basados en “stacks” comerciales de ~2 kW. [Actividad 4].** Análisis del sistema SOFC completo mediante estudios de modelado a nivel de sistema, con el objetivo de optimizar las condiciones de operación de cara a integrar el sistema de conversión de hidrógeno a electricidad (sistema SOFC) con otros elementos de red. Incluye el diseño e integración del balance de planta, gestión y aprovechamiento de calor residual. Se establecen dos niveles de sistema como punto de partida, 10 kW y 50 kW. Fabricación de sistemas SOFC de 10 y 50 kW a partir del estudio llevado a cabo, incluyendo todos los elementos para desarrollar un prototipo final comercializable.

**OO6: Validación de sistemas SOFC en entornos reales, mediante su integración en microrredes basadas en hidrógeno verde como vector energético. [Actividad 5].**

Validación de sistemas SOFC de 10 y 50 kW en dos entornos diferentes: microrred ATENEA (CENER) y Bodegas Viñas del Vero. Integración y acoplamiento del sistema SOFC de conversión de H<sub>2</sub> con el resto de los elementos de la microrred, incluyendo (siempre que esté disponible) sistemas de generación y almacenamiento de hidrógeno verde. Análisis de la eficiencia del sistema una vez conectado a red (> 5% mejora en la eficiencia eléctrica frente a referencia). En definitiva, el presente proyecto contribuirá a reforzar un elemento clave de la cadena de valor del hidrógeno como vector energético que es la tecnología asociada a la etapa de usos y aplicaciones del H<sub>2</sub> (reconversión a electricidad limpia), con el objetivo de garantizar su desarrollo y convertir a este elemento en uno de los protagonistas del mix energético del futuro.

**1.1.2 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DE IDEA**

El **objetivo general** de IDEA en el proyecto SOFC4GreenGrid consiste en la **investigación y desarrollo de un sistema SOFC de 10 y 50 kW partiendo de “stacks” de 2 kW e incorporando el balance de planta, así como capacitarse para poder realizar el testeo de stacks SOFC de geometría planar de potencias de 2 kW**. Adicionalmente, como líder del proyecto, IDEA pretende ser un referente nacional en la I+D de energías renovables y el empleo de hidrógeno verde.

Con ello, IDEA persigue, por un lado, consolidar su posición nacional como referente en el desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles en el sector industrial y, por otro lado, diversificar su actual línea de servicios de ingeniería y consultoría, en todo el ciclo de vida del H<sub>2</sub> verde, tanto como materia prima para el uso industrial como combustible para el transporte y/o aplicaciones estacionarias a través de la investigación y desarrollo en nuevas tecnologías que ayuden a mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad ahondando en la descarbonización del planeta. Por ello se escoge el H<sub>2</sub> verde como solución, como vector energético, es materia prima para la producción de energía mediante su aplicación en pilas de combustible. Los **objetivos técnicos específicos** de IDEA en SOFC4GreenGrid están alineados con la estrategia de la compañía y los objetivos del proyecto, en concreto con el objetivo OE2 (sección 1.1.1), y se describen a continuación:

- IDEA, dentro de su línea de negocio IDEAGREEN (<https://ideagreen.es/>) tiene como filosofía corporativa la descarbonización del planeta. La implantación en nuestros proyectos de nuevos sistemas de “stacks” SOFC de entre 10 y 50 kW, ayudará a este objetivo con el uso de una energía limpia obtenida a través de una fuente de energía renovable.
- IDEA colabora en proyectos donde el vector energético del Hidrogeno Verde se usa como materia prima o combustible. Los sistemas de “stacks” SOFC desarrollados en este proyecto ampliarán la gama de soluciones donde se puede aplicar el H<sub>2</sub> como fuente para producir energía.
- Los resultados de este proyecto potenciarán la apuesta de IDEA por las energías renovables, ampliando sus conocimientos en nuevos sistemas de aplicación del H<sub>2</sub> verde para generación de energía, que pueden ser utilizados tanto en aplicaciones de movilidad como estacionarias.

En lo que respecta a los **objetivos operativos de IDEA** en el proyecto SOFC4GreenGrid, estos se centran en las actividades lideradas por IDEA dentro del plan de trabajo establecido en el proyecto, que están relacionados con los objetivos operativos OO2 y OO4 (sección 1.1.1), y son los siguientes:

- Ampliar conocimientos en pilas SOFC mediante el testeo de “stacks” SOFC de 2 kW , para evaluación de sus cualidades, ventajas e inconvenientes.
- Diseñar y optimizar el ensamblado de “stacks” SOFC , hasta obtener sistemas de potencia de 10 kW y 50 kW.
- Obtener sistemas con potencias de 10 y 50 kW mediante ensamblado de “stacks” SOFC
- Analizar los sistemas ensamblados.
- Validar el sistema de “stacks” SOFC de 2 kW desarrollado en el proyecto.

### 1.1.3 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DE REGENERA

El **objetivo general** de REGENERA en el proyecto SOFC4GreenGrid consiste en la **investigación en celdas y “stacks” SOFC de geometría planar con dos tipos de materiales distintos**, por un lado, **haciendo un estudio de la optimización de la microestructura de cada componente y otros puntos críticos para el funcionamiento de las pilas SOFC** y, por otro, **con la integración de materiales innovadores como componentes funcionales de la celda**.

Con ello, REGENERA pretende afianzarse como referente nacional entre las empresas de sostenibilidad en el sector industrial, con nuevas líneas de investigación en el desarrollo de nuevos materiales más eficientes y producidos mediante procesos productivos sostenibles, línea que ya se ha iniciado por parte de REGENERA mediante la participación en proyectos europeos del Programa LIFE y proyectos nacionales de CDTI Misiones (sección 2). Por otro lado, REGENERA pretende ampliar y diversificar su actual línea de investigación en hidrógeno y economía circular a través de la investigación en soluciones innovadoras basadas en nuevos “stacks” para pilas de hidrógeno. Los **objetivos técnicos específicos** de REGENERA en SOFC4GreenGrid están alineados con la estrategia de la compañía y los objetivos del proyecto, en concreto con el objetivo OE1 (sección 1.1.1), y se describen a continuación:

- La actual línea de investigación de REGENERA en Hidrógeno Verde va dirigida a la implantación de éste como vector energético en industria, logística, movilidad y flexibilidad energética. Con este proyecto se pretende investigar en soluciones innovadoras basadas en “stacks” con nuevos materiales para pilas de hidrógeno.
- REGENERA dispone de una línea de negocio dentro del Departamento de Ingeniería basada en soluciones en economía circular y sostenibilidad. El presente proyecto permitirá a REGENERA diversificar en el ámbito de nuevos materiales innovadores para nuevos diseños y fabricación de celdas SOFC de geometría planar.
- Finalmente, REGENERA ampliará sus conocimientos técnicos en cuanto integración de sistemas basados en hidrógeno como vector energético con energías renovables, en este caso pilas SOFC con Fotovoltaica, ampliando así el actual servicio de la empresa en el que se está incorporando la instalación de sistemas de electrólisis con la construcción de parques fotovoltaicos.

En lo que respecta a los **objetivos operativos de REGENERA** en el proyecto SOFC4GreenGrid, estos se centran en las actividades lideradas por REGENERA dentro del plan de trabajo establecido en el proyecto, que están relacionados con los objetivos operativos OO1, OO2 y OO3 (sección 1.1.1), y son los siguientes:

- Investigar en el “state-of-the-art” sobre celdas y “stacks” SOFC de geometría planar. Estudiar los materiales más prometedores en cuanto a eficiencia y sostenibilidad. Investigar en nuevos materiales como electrodos de aire de SOFCs.
- Desarrollar una celda SOFC a escala de laboratorio con los nuevos materiales propuestos y optimizados, como electrodos de aire.
- Investigar en fabricación de celdas avanzadas y nuevos diseños de “stacks” SOFC de geometría planar, de acuerdo con los resultados del estudio del arte y los resultados de optimización de microestructuras.
- Caracterizar los nuevos “stacks” SOFC de geometría planar diseñados y prototipados. Investigar en su integración y comportamiento en entornos reales.

### 1.1.4 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DE VODIK

El **objetivo general** de VODIK en el proyecto SOFC4GreenGrid consiste en la **investigación y desarrollo del balance de planta necesario para la integración de “stacks” SOFC en el sistema final responsable de la generación eléctrica, conocido como pila de combustible SOFC de 10 y 50 kW de potencia**. Adicionalmente, tras el modelado los elementos que complementan al “stack” SOFC dentro de la pila de combustible, VODIK investigará el impacto del balance de planta desarrollado sobre la producción de energía eléctrica, con el fin de validar el mismo.

Con ello, VODIK pretende, por un lado, consolidar su posición nacional en el desarrollo de proyectos integrales de hidrógeno en el sector industrial y, por otro lado, diversificar su actual

línea de servicios a través de la investigación y desarrollo de pilas de combustible que habiliten el uso de hidrógeno verde para sus clientes mediante la promoción de aplicaciones energéticas estacionarias. Los **objetivos técnicos específicos** de **VODIK** en SOFC4GreenGrID están alineados con la estrategia de la compañía y los objetivos del proyecto, más concretamente con el objetivo OE2 (sección 1.1.1), y son los siguientes:

- Estudiar cada uno de los componentes del balance de planta requerido para pilas de combustible SOFC.
- Analizar los parámetros de operación de pilas de combustible SOFC, con el fin de alcanzar la mayor eficiencia de producción energética en el formato de electricidad y calor aprovechable.
- Monitorear la producción energética de pilas SOFC para facilitar el despliegue de estas en aplicaciones relativas a industria.

En lo que respecta a los **objetivos operativos de VODIK** en el proyecto SOFC4GreenGrID, estos se centran en las actividades lideradas por VODIK dentro del plan de trabajo establecido en el proyecto, que están relacionados con los objetivos operativos OO4 y OO5 (sección 1.1.1), y son los siguientes:

- Definir los componentes suplementarios al “stack” con el fin de obtener un prototipo funcional de pila SOFC de 10 kW.
- Ejecutar el modelado del sistema global de pila de combustible SOFC de 10 kW en base a los componentes analizados y elegidos.
- Analizar el escalado de componentes del sistema de 10 kW requerido para la obtención de una pila de combustible SOFC de 50 kW.
- Ejecutar el modelado del sistema global de pila de combustible SOFC de 50 kW en base al estudio de escalado previo.

### 1.1.5 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS DE GGE

El **objetivo general** de **GGE** en el proyecto SOFC4GreenGrID consiste en la **investigación y desarrollo de sistemas energéticos basados en tecnología de óxido sólido**. Adicionalmente, su objetivo radica en **saber cómo integrar estas nuevas tecnologías en entornos industriales con el mínimo impacto técnico y el máximo impacto económico y medio ambiental**.

Con ello, GGE pretende avanzar en sus desarrollos tecnológicos basados en hidrógeno como vector energético y pilas de combustible para poner en valor todo el conocimiento ya generado y aplicarlo en la industria, creando modelos de negocios rentables y eco-innovadores.

Los **objetivos técnicos específicos** de **GGE** en SOFC4GreenGrID están alineados con la estrategia de la compañía y los objetivos del proyecto, más concretamente con el objetivo OE3 (sección 1.1.1), y se describen a continuación:

- GGE desarrolla iniciativas sostenibles basadas en tecnologías del hidrógeno como vector energético y pilas de combustible. Con este proyecto se pretende ahondar en el “know-how” de la empresa sobre estos sistemas SOFC en entornos reales con el objetivo de ampliar su cartera de productos y desarrollar futuros proyectos derivados de este.
- GGE es integrador de tecnologías energéticas como son las energías renovables y las tecnologías de producción y uso de hidrógeno. Con este proyecto se pretende investigar cómo integrar pilas de combustible de alta temperatura en entornos industriales para mejorar procesos y ganar autosuficiencia energética de cara ampliar su conocimiento científico técnico y mejorar su posicionamiento en el sector.
- GGE es operador y mantenedor de sistemas de hidrógeno y parques fotovoltaicos. Con este proyecto se pretende conocer cómo trabajar, optimizar y cómo mantener un sistema basado en pilas de combustible de óxido sólido en un contexto industrial.

En lo que respecta a los **objetivos operativos de GGE** en el proyecto SOFC4GreenGrID, estos se centran en las actividades lideradas por GGE dentro del plan de trabajo establecido en el proyecto, que están relacionados con el objetivo operativo OO6 (sección 1.1.1), y son los siguientes:

- Analizar especificaciones técnicas y normativas para la integración de tecnologías SOFC en entornos industriales.

- Concretar un mapa de ruta de los pasos a llevar a cabo para una integración de un sistema SOFC de hasta 50 kW.
- Definir procedimientos de cada etapa del mapa de ruta para corroborar la idoneidad y certeza de los trabajos a realizar.
- Ejecutar la integración del sistema SOFC en base a lo planificado.

### 1.1.6 ADECUACIÓN A LA MISIÓN SELECCIONADA Y A LOS ÁMBITOS DE ACTUACIÓN PROPUESTOS

El presente proyecto pretende generar conocimiento avanzado en torno al **desarrollo de fuentes de energía limpia** que contribuyan a **recortar de forma drástica las emisiones contaminantes** en nuestro país, a **descarbonizar la economía y la sociedad española** buscando la **neutralidad climática** y a reducir nuestra **dependencia energética** de los combustibles fósiles mediante la I+D en **fuentes de energía renovables y sostenibles**. SOFC4GreenGrid se centra en la **investigación y desarrollo para reforzar las capacidades tecnológicas** en la etapa de aplicaciones de la cadena de valor del hidrógeno verde **mediante el desarrollo de sistemas de conversión de hidrógeno verde en electricidad basados en pilas de combustible de óxido sólido SOFC con materiales y/o procesos de fabricación innovadores, así como su integración en microrredes**. Así, se pretende fomentar la **autonomía energética segura y sostenible** para **aplicaciones estacionarias en entornos rurales con demanda de energía hasta 50 kW**.

Tal como se ha indicado previamente, el proyecto SOFC4GreenGrid se enmarca en la **Misión 1** de las seis identificadas, que tiene como objetivo **reforzar capacidades tecnológicas para la autonomía energética segura y sostenible (fusión, hidrógeno y renovables)**.

En esta misión, SOFC4GreenGrid se centra en impulsar la tecnología denominada SOFC (acrónimo de Solid Oxide Fuel Cell) para la **producción de electricidad a partir de hidrógeno verde**. Se trata, por ello, de una tecnología que contribuye al **desarrollo de la autonomía energética, segura y sostenible, además de promover el desarrollo de un sistema energético flexible y más descentralizado**. El proyecto abarca la producción de **energía limpia** –el combustible es hidrógeno verde y el producto residual es agua caliente, a su vez utilizable- que contribuye en gran medida al reto de **descarbonización** del medio ambiente, buscando la neutralidad climática y la reducción de nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Por otro lado, dentro de esta misión se pueden contemplar propuestas de investigación y desarrollo de nuevas soluciones desde nivel de laboratorio a escala de planta piloto tanto de sistemas completos como de componentes o subsistemas integrados. De esta forma, SOFC4GreenGrid propone actividades de investigación en el área de materiales, **desde escala de laboratorio a prototipado, para el desarrollo de electrodos de aire de celdas SOFC que permitan una mejora de la tecnología, tanto en costes como en prestaciones de los dispositivos**.

Las Misiones del Programa han sido propuestas atendiendo a su complementariedad y coordinación con los Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) aprobados por el Consejo de Ministros. En este contexto, el proyecto SOFC4GreenGrid, centrado en el uso de hidrógeno verde como vector energético, se alinea al PERTE de hidrógeno renovable y almacenamiento. La tecnología SOFC contribuye a potenciar el almacenamiento de energía a través del uso de hidrógeno verde, en el sentido que se utiliza hidrógeno verde producido mediante un proceso de electrolisis que emplee electricidad obtenida de fuentes de energía renovables.

El Programa Misiones busca afrontar retos como la lucha contra el cambio climático, el impulso de la transición energética, el apoyo a la economía circular o el desarrollo de tecnologías que contribuyan a la próxima revolución industrial. En este sentido, SOFC4GreenGrid contribuye a afrontar algunos de estos retos, puesto que plantea el impulso de la tecnología SOFC de producción de energía con hidrógeno verde (impulso de la transición energética y lucha contra el cambio climático). SOFC4GreenGrid presenta objetivos de producción de energías limpias, almacenamiento energético y empleo de energías renovables que contribuirán a alcanzar los retos de descarbonización del sistema energético planteados por la Unión Europea para el año 2050. Las actividades planteadas en este proyecto encajan

perfectamente con estos retos y se alinean con dicha urgencia, ya que pretenden investigar en nuevos materiales cerámicos, procesos de fabricación y tecnologías para el desarrollo de pilas de combustible tipo SOFC y sistemas de conversión de hidrógeno en electricidad de hasta 50 kW basados en esta tecnología. Esto contribuirá directamente al establecimiento de microrredes y generadores basados en hidrógeno verde y, por consiguiente, a la **autonomía energética de empresas y comunidades rurales**, y a la **flexibilización y descentralización del sistema energético**, siendo esta una **prioridad no solo a nivel nacional, sino también a nivel europeo**. El objetivo a largo plazo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)<sup>7</sup> es convertir a España en un país neutro en carbono en 2050. El hecho de suministrar energía segura, limpia y eficiente a los distintos sectores consumidores implica importantes retos tecnológicos, que es necesario abordar desde distintos ámbitos:

- Reducción de la dependencia, en especial la importación de combustibles fósiles.
- Diversificación de fuentes de energía y suministro.
- Preparación ante posibles limitaciones e interrupciones de suministro.
- Aumento de la flexibilidad del sistema energético nacional.

En dicho Plan se indica que la investigación, innovación y competitividad deben ir orientadas hacia la flexibilidad y optimización del sistema energético mediante la implementación de tecnologías que aporten flexibilidad al sistema eléctrico, esencial para alcanzar un alto grado de penetración en el sistema de generación renovable no gestionable, como el consumo de hidrógeno en pilas de combustible.

El Pacto Verde Europeo<sup>8</sup> (Green Deal) se centra en varios principios clave para la transición hacia una energía limpia, que ayudará a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos; uno de ellos habla de garantizar un suministro energético seguro y asequible en la UE. Además, indica que la industria de la UE necesita «pioneros del clima y los recursos» que desarrollen aplicaciones comerciales de tecnologías de vanguardia en sectores industriales clave de aquí a 2030 en áreas prioritarias como el hidrógeno limpio y las pilas de combustible. Esta Misión 1 trata de dar soporte a tres ámbitos relevantes de desarrollo dentro de las energías sostenibles: fusión, hidrógeno y renovables. A continuación, se resume la adecuación del proyecto a los ámbitos de actuación propuestos:

## **ÁMBITO DE ACTUACION 1.2 – HIDRÓGENO VERDE O DE FUENTES RENOVABLES**

Este ámbito trata de **impulsar el desarrollo de todo tipo de tecnologías**, tanto en lo referido a la **optimización en procesos** de generación de hidrógeno verde, como en su transformación, distribución y almacenamiento en estado puro o por medio de vectores alternativos (NH<sub>3</sub>, LOHCs), buscando **nuevas soluciones que permitan resolver problemas y mejorar costes y eficiencia en los distintos materiales, procesos y actividades involucradas en los distintos sectores participantes, en comparación con los de obtención del hidrógeno a partir de combustibles fósiles. La tecnología SOFC se trata de un ejemplo indiscutible de tecnología en la que el empleo de hidrógeno verde como vector energético contribuye a la optimización de procesos de transformación – transformación de hidrógeno en energía- y almacenamiento energético –uso de renovables para producción de hidrógeno verde y posterior transformación en electricidad.**

SOFC4GreenGrID pretende impulsar el desarrollo de pilas de combustible tipo SOFC avanzando en la investigación en nuevos materiales y diseños de celda y el ensamblado de sistemas de hasta 50 kW. Más concretamente, el proyecto plantea avances en la investigación en celdas y “stacks” SOFC de geometría planar, la optimización de métodos de preparación de materiales y la evaluación de costes de escalado. Se realizará un análisis de la fabricación a escala de materiales cerámicos funcionales alternativos al estado del arte actual, para su posterior integración en sistemas SOFC basados en la tecnología a desarrollar durante el proyecto. Además, se optimizarán los procesos de fabricación de las celdas y “stacks”, para asegurar la producción de grandes cantidades, estableciendo así las bases para un futuro escalado a producción automatizada, en base a una futura comercialización del sistema. Por

<sup>7</sup> [https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto\\_tcm30-508410.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf)

<sup>8</sup> [resource.html \(europa.eu\)](https://resource.html(europa.eu))

otro lado, SOFC4GreenGrid desarrollará un primer prototipo de sistema de conversión de hidrógeno verde en electricidad de hasta 50 kW basado en tecnología SOFC, para lo cual se llevarán a cabo estudios de investigación del diseño óptimo de ensamblado de "stacks" de en torno a 2 kW hasta llegar a la potencia deseada del sistema, y el acoplamiento de elementos auxiliares para la fabricación de un sistema autónomo (balance de planta). Por último, el proyecto SOFC4GreenGrid desarrollará la infraestructura para integrar el sistema en entornos reales (i.e. microrredes que utilicen hidrógeno verde como vector energético), desarrollando así las capacidades necesarias para la futura implementación de sistemas a gran escala. De esta forma, el proyecto SOFC4GreenGrid conseguirá mejoras en los siguientes aspectos:

- **Consolidación de una infraestructura nacional para la fabricación e integración de sistemas de conversión de hidrógeno verde en electricidad basados en tecnología SOFC**, lo cual incluye: capacidad de síntesis de materiales a gran escala, capacidad de fabricación de celdas y "stacks", capacidad de ensamblado y fabricación de sistemas de potencia modular a partir de los "stacks" SOFC fabricados y, por último, capacidad de integración de sistemas en entornos reales.
- **Reducción de costes de materiales de celdas y stacks**, desde dos puntos de vista: (i.) uso de nuevos materiales más económicos y (ii.) optimización de métodos de síntesis y producción a escala.
- **Incremento de la eficiencia eléctrica del sistema SOFC de 50 kW**. Siendo la eficiencia eléctrica uno de los aspectos diferenciales de esta tecnología frente a otras.
- **Mejora de la potencia generada por unidad de área ( $W/cm^2$ ) en celdas unidad y stacks SOFC 2 kW**.
- **La Reducción de la degradación**, para asegurar la estabilidad del sistema a largo plazo.
- **Fabricación a escala de los dispositivos más innovadores a nivel de laboratorio**.

### ÁMBITO DE ACTUACION 1.3 – ENERGÍAS RENOVABLES

Para el conjunto de las diversas energías renovables actuales, incluyendo el biogás y los biocombustibles avanzados con huella de carbono cero, esta misión quiere **estimular el desarrollo de todas aquellas soluciones que permitan disminuir su dependencia de materiales críticos así como el desarrollo de soluciones innovadoras en los diferentes sistemas de energías renovables existentes para la optimización de su producción, transformación, hibridación, almacenamiento e integración segura en redes eléctricas crecientemente digitalizadas y descentralizadas**.

De manera similar a las pilas de combustible SOFC, las pilas de combustible de membrana de intercambio protónico (PEMFC) utilizan  $H_2$  como combustible. Esta industria depende en gran medida de los catalizadores a base de platino. El platino se encuentra en tres países (Rusia, Sudáfrica y Zimbabue) con inestabilidad del suministro y que hace a esta tecnología altamente dependiente de factores geoestratégicos. La tecnología SOFC permite descartar el uso de platino como catalizador, elimina los problemas de estabilidad (mecánica y química) del electrolito polimérico de la PEM y, dado que trabaja a temperaturas mayores, permite obtener eficiencias energéticas muy superiores a las de los dispositivos PEMFCs. La producción de energía eléctrica a partir de hidrógeno se puede producir con alta eficiencia en una celda SOFC formada por un electrolito cerámico, un cátodo cerámico poroso y ánodo cermet poroso. Si se aprovecha el calor residual generado en la reacción de conversión de hidrógeno a agua se alcanza una eficiencia energética en torno al 85% en sistemas de demostración formados por varias celdas<sup>9</sup>. No obstante, la tecnología SOFC no es suficientemente madura desde el punto de vista industrial y comercial. Así, no existe un mercado importante ni fabricantes industriales a gran escala. Entre las limitaciones actuales que presenta la tecnología cabe resaltar:

1. La temperatura de funcionamiento del dispositivo; si bien trabajar a mayor temperatura aumenta la eficiencia, temperaturas muy elevadas conllevan problemas de estabilidad y durabilidad del dispositivo por degradación de los materiales componentes.

<sup>9</sup> <https://doi.org/10.1557/mrs.2014.192>.

2. El coste de materiales; tanto en relación con el uso de elementos críticos, como el coste de los procesos de producción de los materiales.
3. Los costes y problemas de producción de los componentes del dispositivo (cátodo, ánodo, electrolito y conectores) y el ensamblado de los mismos.

Así pues, existe un amplio margen de mejora en aspectos clave de los **procesos y materiales** de construcción de los dispositivos SOFC, que deben abordarse antes de que esta tecnología resulte altamente competitiva frente a otros sistemas sostenibles de producción y almacenamiento de energía eléctrica. En este sentido, el proyecto SOFC4GreenGrid contribuye a **estimular el desarrollo de todas aquellas soluciones que permitan disminuir su dependencia de materiales críticos**.

La solución a varios de los problemas de la tecnología arriba señalados pasa por el diseño y producción a gran escala de materiales adecuados con las propiedades requeridas que puedan sustituir a los que se emplean actualmente. De forma general se persigue reducir la temperatura de operación o evitar el uso de compuestos que contengan grandes cantidades de elementos críticos como son Gd, La, Sr, Ga o Sc. En el ámbito del conjunto de energías renovables, el proyecto SOFC4GreenGrid contribuye a la flexibilización del sistema energético, en tanto en cuanto el dispositivo SOFC propuesto es parte fundamental de la cadena de valor del hidrógeno verde, en concreto para la reconversión de éste en electricidad limpia. El hidrógeno producido a partir de fuentes renovables permite almacenar energía para su uso bajo demanda, aumentando así la penetración de las energías renovables en la red. Un aspecto clave del proyecto SOFC4GreenGrid es el desarrollo de un prototipo SOFC independiente, que se pueda acoplar a una red que utilice hidrógeno verde como vector energético. En este sentido, el proyecto plantea incorporar este sistema de conversión a la microrred experimental ATENEA desarrollada por CENER y adaptar el actual Energy Management System (EMS) para incluir el sistema SOFC para la generación de electricidad a partir de H<sub>2</sub>. En paralelo, se realizará la integración del sistema SOFC de 50 kW en un entorno real de una instalación existente de GGE. Para ser más específicos, durante las últimas etapas del proyecto se plantea la integración del sistema SOFC en las Bodegas Viñas del Vero, en donde ya existe una infraestructura de hidrógeno. De esta forma, **el proyecto SOFC4GreenGrid desarrollará soluciones innovadoras para los sistemas de energías renovables que permitan:**

- **La integración segura del sistema SOFC de hasta 50 kW en la microrred de ATENEA – CENER.** En la última actividad del proyecto se llevará a cabo la integración del sistema SOFC desarrollado en las actividades previas, en las instalaciones actuales de CENER, y más concretamente en la microrred ATENEA, para su acoplamiento con fuentes de energía renovable y otros sistemas de almacenamiento energético (incluidos electrolizadores).
- **La integración segura del sistema SOFC de hasta 50 kW en Bodegas Viñas del Vero** en donde ya existe una infraestructura de hidrógeno y una micro red industrial real, con consumos eléctricos y térmicos. Para ello, se analizará la mejor forma de acoplar con la infraestructura de hidrógeno electrolítico disponible en Viñas del Vero, al igual que la interacción con otros sistemas como el almacenamiento energético basado en baterías y la planta de autoconsumo fotovoltaico de 300 kW. Se analizará su integración con los consumos eléctricos programables que dispone la bodega y los consumos térmicos existentes, consiguiendo también un ahorro energético en la propia industria agroalimentaria. Apenas existen demostradores de sistemas SOFC instalados en España, y menos con desarrollo nacional por lo que ambos demostradores se pueden considerar pioneros en nuestro país.
- **La reducción del uso y la dependencia de materiales críticos.** Cabe destacar especialmente el platino. La industria de las pilas de combustible PEM depende en gran medida de los catalizadores a base de platino, estando los mayores productores de este material en países con inestabilidad en el suministro como son Rusia, Sudáfrica y Zimbabue. El uso de tecnología SOFC para el desarrollo del sistema propuesto elimina completamente la dependencia de este material. En cuanto a la tecnología propuesta, la mayoría de los materiales estado del arte que se usan en los dispositivos SOFC contienen

también elevadas cantidades de elementos críticos, como tierras raras ligeras (La, Gd), cobalto y estroncio (recientemente incluido en la lista de materiales críticos en el correspondiente documento de la UE en 2020<sup>10</sup>). La necesidad de estos materiales críticos para cualquier tecnología supone no solo un elevado coste (debido a la disponibilidad limitada de aquéllos), sino también dependencia de terceros países. Por ejemplo, para lantano y gadolinio el principal productor es China, seguido a su vez de países como Rusia o India. La situación con el cobalto es similar al ser la República del Congo el mayor productor con un 70% seguido de Rusia a su vez. Esto representa claramente una amenaza a la cadena de suministro y viabilidad de la tecnología en cuestión. Se pretende eliminar el uso de tales elementos críticos, o al menos reducir su uso al mínimo, utilizando materiales innovadores libres de tales elementos. No obstante, hay que hacer notar que España es uno de los mayores productores mundiales de Sr, de modo que el riesgo asociado a su uso es limitado en el contexto de este proyecto.

- El desarrollo de **protocolos de síntesis que abaraten costes de producción, rápidos, escalables y limpios**. En este contexto, se van a investigar en el proyecto otros métodos de preparación de materiales alternativos al método cerámico tales como el método de combustión o de coprecipitación de reactivos, que además de las características mencionadas, originan materiales de elevada superficie específica.

## 1.2 RELACIÓN DE LOS INDICADORES CUANTITATIVOS PROPUESTOS CON LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO

En la Tabla 2 se recoge una relación de los indicadores cuantitativos propuestos para el proyecto SOFC4GreenGrid:

Tabla 2. Relación de indicadores cuantitativos de SOFC4GreenGrid

INDICADORES DEL PROYECTO				
N.º	Nombre	Valor y unidad	Método de cálculo	Marco de referencia
1	Potencia generada por unidad de área (W/cm <sup>2</sup> ) en celdas unidad y stack SOFC 2 kW	<b>Mejora ≥ 10%</b> frente a referencias comerciales	Caracterización electroquímica: Curvas I-V, V vs. t, EIS	Establecido según sistemas similares, si bien estos valores dependen de las condiciones del sistema y de operación. Una referencia según la cual se podría esperar una mejora del 10% es: 0.7 W/cm <sup>2</sup> (750°C, 0.7 V) celda de Sofcman 15x15 cm <sup>2</sup> soportada en el ánodo. <sup>11</sup>
2	Eficiencia eléctrica del sistema SOFC 50 kW	<b>Mejora ≥5%</b> frente a referencias comerciales similares	Consumo H <sub>2</sub> y potencia frente a potencia generada. Reaprovechamiento del calor residual.	El valor de referencia se establece en base a información disponible sobre sistemas similares. Los valores de eficiencia de sistemas comerciales se encuentran en torno al 50-60% <sup>121314</sup> .
3	Materiales innovadores con elementos no estratégicos para cátodos de SOFC	Resistencia específica de área <b>&lt;0.2 W·cm<sup>-2</sup> a 700 °C</b>	Medidas de impedancia compleja en aire a diferentes temperaturas en semiceldas simétricas	El valor de referencia se establece en el óxido La <sub>1-x</sub> Sr <sub>x</sub> MnO <sub>3</sub> . Es un conductor electrónico, pero no iónico. El empleo de materiales innovadores conductores mixtos que se desarrollarán en este proyecto, implica el incremento de puntos triples en el electrodo, donde ocurre la reacción de reducción del O <sub>2</sub> y

<sup>10</sup> <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42883/attachments/1/translations/en/renditions/native>

<sup>11</sup> <http://www.sofcman.com/asc.asp>

<sup>12</sup> <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/comparison-fuel-cell-technologies>

<sup>13</sup> Fuels 2021, 2, 393–419. <https://doi.org/10.3390/fuels2040023>

<sup>14</sup> <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.020>

				el transporte de cargas en la interfase electrodo/electrolito.
--	--	--	--	--

A continuación, se detalla la relación de cada indicador cuantitativo propuesto con los objetivos del proyecto:

**INDICADOR 1:** La potencia generada por unidad de área es **el parámetro clave en el desarrollo de dispositivos SOFC** desde un punto de vista fundamental. A la hora de optimizar este parámetro en una celda SOFC, ha de tenerse en cuenta las propiedades mecánicas y electroquímicas de los materiales funcionales (electrodos y electrolito), su microestructura y la combinación entre los mismos (intercara). Para ello, es clave la optimización del proceso de fabricación de las celdas. Asimismo, en el proceso de fabricación de "stacks", resulta fundamental optimizar el proceso de ensamblado de cara a mantener la potencia por unidad de área obtenida a nivel de celda. Para ello, es clave el diseño inteligente del "stack", de forma que se asegure la mayor utilización efectiva posible de las celdas que lo contienen. Actualmente existen en el mercado celdas SOFC comerciales, así como prototipos de "stack" SOFC de en torno a 1-5 kW. La eficiencia de estos varía con los componentes generales del sistema (materiales, tamaño de celda, número de celdas, etc.) así como parámetros de trabajo tales como temperatura, caudal de entrada, presión etc. y otras condiciones operativas del sistema. En los primeros meses de SOFC4GreenGrid, se realizará un estudio de mercado y se seleccionarán las celdas y "stacks" a adquirir durante el proyecto (tarea 1.2). Su caracterización en condiciones de trabajo concretas servirá para definir el marco de referencia para establecer las mejoras alcanzadas en el proyecto. **Se establece una mejora en el rendimiento del 10% sobre las referencias comerciales.** Este indicador está directamente relacionado con los objetivos **OE1, OO1, OO2 y OO3**.

**INDICADOR 2:** La alta temperatura de operación de las pilas de combustible SOFC, si bien a nivel de operación y diseño del sistema presentan retos relacionados con la gestión óptima del calor y la degradación de componentes, también conlleva importantes ventajas que hacen que la tecnología sea competitiva frente a otros tipos de pilas de combustible. En concreto, una termodinámica y cinética favorables hacen que la eficiencia de conversión alcanzable sea mayor que las pilas que operan a baja temperatura. Además, si se considera el reaprovechamiento del calor residual generado por las reacciones exotérmicas, aún es posible aumentar estos valores por encima del 80%. De nuevo, la eficiencia del sistema depende de las características del módulo SOFC (tamaño del "stack" –kW-, tamaño de celdas, materiales empleados, etc.) y las condiciones de trabajo (temperatura, tipo de combustible, caudal, etc.). Por ello, **se toman como referencias datos publicados de sistemas similares. En este proyecto, se establece como objetivo alcanzar una mejora en eficiencia eléctrica igual o superior al 5% respecto a estudios comparativos publicados recientemente; es decir, sin considerar el reaprovechamiento del calor en sistemas de cogeneración.** Este indicador se refiere al prototipo de sistema SOFC final, por lo que está relacionado con los objetivos **OE2, OE3, OO4, OO5 y OO6**.

**INDICADOR 3:** La investigación y desarrollo de nuevos materiales funcionales como componentes de SOFC es uno de los parámetros clave en el desarrollo y mejora de las prestaciones de estos dispositivos. Desde el punto de vista de una economía sostenible, los materiales deben de contener elementos abundantes y no perjudiciales para el medio ambiente. Los materiales catódicos deben presentar bajas resistencias de polarización que indiquen una alta actividad catalítica frente a la reducción de oxígeno y ser buenos conductores mixtos. **En este proyecto se pretende investigar las propiedades de materiales que no contengan elementos estratégicos y su empleo como cátodos en SOFC.** Por tanto, se estudiarán óxidos alternativos al  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ , que se trata del cátodo habitual, que no contengan elevados contenidos de Sr y en los que la sustitución de Mn por otros elementos de transición abundantes mejore la conductividad iónica del anión óxido. **Por otro lado, el proyecto abordará la puesta a punto de métodos de síntesis alternativos al método cerámico, que reduzcan costes de producción mediante la disminución de las temperaturas de trabajo y mediante el uso de otros reactivos diferentes a los óxidos**

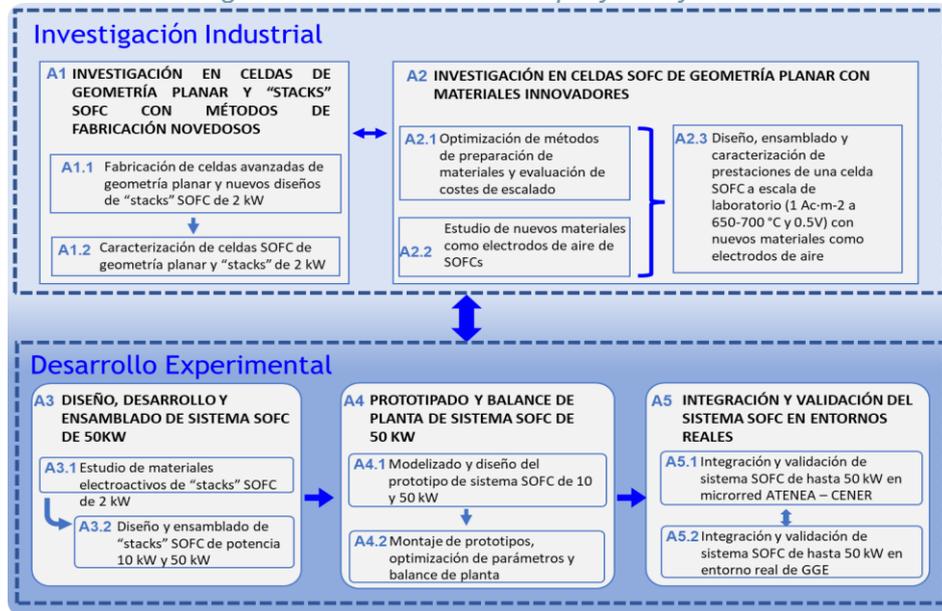
que se utilizan en el método cerámico. Este indicador está directamente relacionado con los objetivos OO2 y OO3.

1.3 PLAN DE TRABAJO

1.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PLAN DE TRABAJO

Para la consecución del proyecto SOFC4GreenGrID se han considerado 5 actividades principales (Tabla 3).

Tabla 3. Diagrama de actividades del proyecto y su interrelación



ACTIVIDAD 1 Investigación en celdas de geometría planar y “stacks” SOFC con métodos de fabricación novedosos						
LÍDER	REGENERA					
PARTICIPANTES	IDEA, VODIK, GREEN GROUPING					
OIs	INMA-CSIC, CENER, UCM					
FECHA INICIO	M1	FECHA FIN	M27	DURACIÓN	27 meses	
OBJETIVOS						
El <b>objetivo general</b> es realizar una investigación sobre el diseño y fabricación de celdas SOFC de geometría planar y el ensamblado de “stacks” mediante el apilamiento de celdas unidad. Así mismo, la tarea contempla la caracterización estructural, microestructural y electroquímica de los elementos a fabricar, para su valoración y validación frente a referentes comerciales. Se establece un <b>objetivo de mejora de un 10%</b> en términos de potencia generada en las condiciones óptimas de operación. Esta actividad está directamente relacionada con el <b>objetivo OO1 del proyecto</b> .						
TIPO DE ACTIVIDAD / ÁMBITO DE ACTUACIÓN						
Esta actividad de <b>Investigación Industrial</b> está directamente relacionada con el <b>ámbito de actuación 1.2</b> ya que se centra en alcanzar avances a nivel fundamental en la fabricación de celdas y “stacks” SOFC, así como en mejorar su rendimiento electroquímico. Esto tiene un impacto directo en mejorar de la eficiencia de estos dispositivos para su uso como convertidores de hidrógeno verde en electricidad, potenciando así la integración del hidrógeno como vector energético clave en redes de energías renovables.						
DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS						
<b>TAREA 1.1. Fabricación de celdas avanzadas de geometría planar y nuevos diseños de “stacks” SOFC de 2 kW, con materiales y microestructuras optimizadas (L: REGENERA, P: IDEA, VODIK, GREEN GROUPING) (M1-M22) (OIs subcontratados: INMA-CSIC, CENER, UCM)</b>						

Esta tarea se centra en la producción de celdas unidad SOFC con materiales y microestructuras optimizadas en cuanto a prestaciones en celdas a escala de laboratorio, que se utilizarán para el ensamblado de "stacks" de 2kW. Se establece un tamaño de referencia para la fabricación de las celdas de 5x5 cm<sup>2</sup>, basadas en geometría planar (ver **Figura 3**). Se utilizarán técnicas de impresión de capas delgadas funcionales, en concreto impresión por colado en cinta para el depósito del electrodo de hidrógeno y serigrafía para el electrolito y el electrodo de aire. Para ello, se pondrá a punto el proceso de preparación de tintas cerámicas basadas en los materiales comerciales seleccionados en un estudio de mercado inicial (tarea 3.1.). Se investigará en la composición de las tintas y parámetros de depósito para **controlar y optimizar la microestructura de cada uno de los componentes funcionales de la celda** (soporte, electrodo de hidrógeno, electrolito, electrodo de aire y colector de corriente), lo cual tiene un impacto directo en el rendimiento electroquímico de la misma. Una vez establecido el método de fabricación de las celdas unidad, REGENERA, en colaboración con los OPIs colaboradores y las otras entidades, fabricará lotes de celdas para investigar el procedimiento de ensamblado y sellado idóneo para la producción de "stacks" de 2 kW. Los "stacks" se fabricarán mediante el apilamiento de celdas, utilizando interconectores metálicos con diseño óptimo para asegurar una correcta fluídica en el sistema (ver **Figura 3**). **Para ello, será fundamental investigar por un lado el diseño óptimo de las celdas para un óptimo ensamblado y, por otro, el tipo de sellante y método de aplicación que asegure un correcto funcionamiento de la celda** (evitando el contacto directo entre el hidrógeno del ánodo y el oxígeno del cátodo). El número óptimo de celdas a apilar se establecerá en función del rendimiento obtenido (potencia generada) para cada celda individual (tarea 1.2).

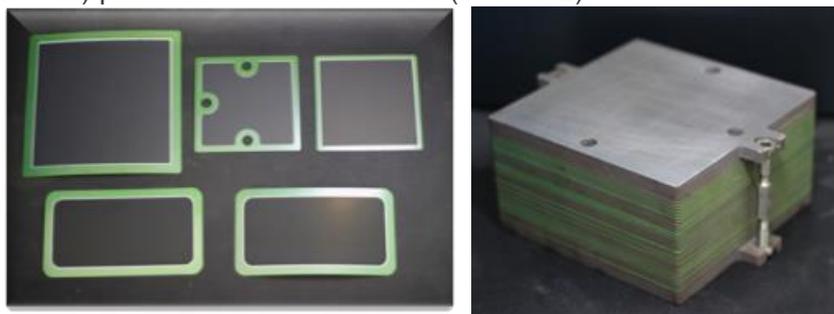


Figura 3. Ejemplo de celdas SOFC y "stacks" comercializados de SOFCMAN.

**TAREA 1.2. Caracterización de celdas SOFC de geometría planar y "stacks" de 2 kW (L: REGENERA, P: IDEA, VODIK, GREEN GROUPING) (M12-M27) (OIs subcontratados: CENER, INMA-CSIC, UCM)**

En esta tarea se caracterizarán las prestaciones electroquímicas tanto de celdas unidad SOFC como de los "stacks" ensamblados en la tarea 1.1. Así mismo, al comienzo de la tarea, se caracterizarán una serie de celdas SOFC y "stacks" para establecer la referencia interna del proyecto sobre la que proponer las mejoras en rendimiento.

Las actividades de investigación a realizar en esta tarea serán coordinadas por REGENERA, con la participación de CENER, INMA-CSIC y UCM y los socios empresariales; consistirán en un primer paso donde se establecerán diferentes baterías de ensayos para evaluar el rendimiento de las pilas (**Figura 4**) en distintas condiciones de operación (temperatura, presión, caudal de entrada de gases, etc.). Posteriormente, se llevarán a cabo estudios de degradación a largo plazo (evolución del voltaje con el tiempo). En celdas y "stacks" seleccionados, se realizará un estudio post-mortem para establecer una correlación entre la pérdida de rendimiento observada y la degradación de los materiales funcionales de la celda. También se realizarán medidas de espectroscopía de impedancias para determinar el origen de las pérdidas óhmicas y su correlación con la degradación de la celda y sus materiales. Estos resultados serán clave para la investigación de la tarea 1.1 y permitirán determinar vías de mejora y optimización de las celdas y "stacks" desde un punto de vista de fabricación.

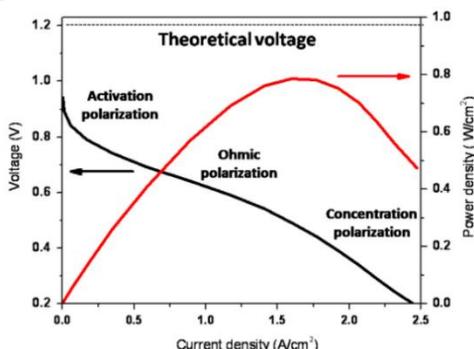


Figura 4. Típica curva de polarización para el estudio del rendimiento de celdas SOFC

**RESULTADOS ESPERADOS**

Los principales resultados esperados en la actividad 1 son los siguientes:

- Procedimiento de fabricación de celdas SOFC de tamaño 5x5 cm<sup>2</sup> con métodos de fabricación novedosos.
- Celda SOFC de tamaño 5x5 cm<sup>2</sup> construida con métodos de fabricación innovadores y microestructuras optimizadas que, en condiciones óptimas de operación, genere una potencia que suponga una mejora de al menos el **10%** frente a celdas de referencia comerciales.
- Procedimiento de ensamblado de “stacks” SOFC basados en celdas unidad de tamaño 5x5 cm<sup>2</sup>.
- “Stack” SOFC de potencia pico 2 kW construido a partir de las celdas unidad fabricadas en el marco del proyecto SOFC4GreenGrid con una degradación menor de 2% cada 1000 h.

**ENTREGABLES**

ENTREGABLE	RESPONSABLE	TIPO	FECHA
E1.1. Prototipo de celda unidad SOFC de tamaño 5x5 cm <sup>2</sup> construida a partir de materiales optimizados.	REGENERA	Prototipo	M14
E1.2. Prototipo de “stack” SOFC de 2 kW construido mediante ensamblado a partir de las celdas desarrolladas en el proyecto.	REGENERA	Prototipo	M22
E1.3. Informe sobre el rendimiento y degradación de celdas y “stacks” SOFC construidos en el marco del proyecto.	REGENERA	Informe	M27

**ACTIVIDAD 2**

**Investigación en celdas SOFC de geometría planar con materiales innovadores**

LÍDER	REGENERA		
PARTICIPANTES	IDEA, VODIK, GREEN GROUPING		
OIs	UCM, USP-CEU, INMA-CSIC		
FECHA INICIO	M5	FECHA FIN	M22
		DURACIÓN	18 meses

**OBJETIVOS**

El **objetivo general** es evaluar materiales cerámicos innovadores que supongan una mejora sustancial frente a los materiales estado del arte utilizados en SOFC, desde un punto de vista tanto electroquímico (mejora en el rendimiento de las celdas) como socioeconómico (eliminación de materiales críticos).

Esta actividad está directamente relacionada con los **objetivos del proyecto OO2 y OO3**.

**TIPO DE ACTIVIDAD / ÁMBITO DE ACTUACIÓN**

Esta actividad de **Investigación Industrial** está directamente relacionada con el **ámbito de actuación 1.3** ya que se centra en el diseño y elección de materiales innovadores con buenas prestaciones, económicos, que no contengan elementos críticos ni contaminantes

o tóxicos, que se preparen por métodos asequibles, rápidos y escalables, para sustituir alguno (o algunos) de los materiales que se vienen empleando en la tecnología SOFC.

#### DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS

##### **TAREA 2.1. Optimización de métodos de preparación de materiales y evaluación de costes de escalado (L: IDEA, P: REGENERA) (M5-M22)**

**(OIs subcontratados: USP-CEU)**

Usando el conocimiento obtenido en la Actividad 1 en lo referente tanto al procesado de los materiales para la fabricación de tintas, deposición/construcción de los electrodos, procesado de las monoceldas y construcción de “stacks”, degradación durante ensayo, etc., se seleccionarán algunos de los materiales de los desarrollados y estudiados por los participantes en el proyecto, atendiendo también a criterios económicos y ambientales (ver más adelante) que permitan solventar algunos de los problemas encontrados. En particular, se pretende que los materiales innovadores presenten buenas prestaciones eléctricas y electroquímicas, buena procesabilidad (esto es, que se pueda preparar tintas con buenas prestaciones reológicas) y den lugar a electrodos con gran superficie específica (mayores de 10 m<sup>2</sup>/g), que sean baratos y se puedan preparar por métodos fácilmente escalables y respetuosos con el medioambiente. IDEA, en colaboración con REGENERA, USP-CEU y UCM, investigará diversas familias de compuestos óxidos con estructuras cristalinas derivadas de la perovskita y que sean conductores mixtos. Desarrollo y definición de métodos para la preparación a gran escala de materiales cerámicos funcionales alternativos a los del estado del arte en celdas comerciales, para su posterior investigación en sistemas SOFC construidos en el proyecto. La tarea se centra en la elección de los materiales apropiados y la optimización de los métodos de síntesis de éstos para asegurar la producción de cantidades en la escala del kilogramo.

##### **TAREA 2.2. Estudio de nuevos materiales como electrodos de aire de SOFCs (L: REGENERA, P: IDEA): (M5-M20)**

**(OIs subcontratados: UCM, USP-CEU)**

IDEA y USP-CEU prepararán y caracterizarán estructuralmente (fase cristalina y pureza) materiales alternativos a los de estado del arte con elementos abundantes en la naturaleza y reducción de costes de producción y se evaluarán aquellos materiales que permitan el escalado a síntesis de grandes cantidades de cara a su futura integración en una línea de fabricación. Por su parte, REGENERA y UCM llevarán a cabo el análisis microestructural y electroquímico (conductividad y electrocatálisis) de dichos materiales. Asimismo, se realizará la caracterización de los materiales una vez ensayadas las celdas, para detectar posibles problemas de degradación, tanto de la estructura como de la microestructura de los materiales.

##### **TAREA 2.3. Diseño, ensamblado y caracterización de prestaciones de una celda SOFC a escala de laboratorio (1 Ac·m<sup>-2</sup> a 650-700 °C y 0.5V) con nuevos materiales como electrodos de aire (L: REGENERA, P: IDEA, VODIK, GREEN GROUPING) (M12-M24)**

**(OIs subcontratados: INMA-CSIC, UCM)**

Validación de los materiales propuestos mediante su integración en un prototipo de celda SOFC fabricada a escala de laboratorio. Algunos de los materiales innovadores seleccionados a partir de los resultados de las tareas 2.1. y 2.2 se usarán para preparar monoceldas para ensayos de laboratorio, utilizando los mismos medios y protocolos de fabricación que los empleados en la construcción de los prototipos en la T1.1. Se pretende obtener información de las prestaciones de estas celdas de laboratorio con la idea de estimar el comportamiento de dispositivos equivalentes a los preparados en la actividad 1 y cuantificar la viabilidad de los mismos.

**REGENERA, con la colaboración de IDEA, INMA-CSIC y UCM trabajarán con el objetivo de obtener unas prestaciones al menos de 0.5 V a 1 Ac·m<sup>-2</sup> en el rango de temperaturas de 650-700°C en el dispositivo de laboratorio, lo que podría asegurar unas prestaciones competitivas tras escalado. Adicionalmente, como algunos de los materiales innovadores que se investigarán pueden trabajar, dada su estabilidad**

química en la atmósfera correspondiente, tanto en el electrodo de aire como en el de combustible (celda simétrica), se plantea la construcción y ensayo de celdas simétricas de laboratorio. La consecución de elevadas prestaciones en este caso simplificaría los procesos de fabricación llevando al consiguiente ahorro de costes. Finalmente, se llevará a cabo un estudio teórico de escalado y aplicabilidad de los prototipos desarrollados a escala de laboratorio de cara a su futura integración en una línea de fabricación.

### RESULTADOS ESPERADOS

Los principales resultados esperados en la actividad 2 son los siguientes:

- Identificación de materiales candidatos para sustituir de forma ventajosa a otros que se vienen utilizando en la tecnología SOFC.
- Protocolo de síntesis y escalado de estos materiales, que ha de ser más económicos, amigables con el medio ambiente, no contener ningún elemento crítico, y susceptible de obtenerse por métodos rápidos, asequibles y escalables.
- Preparación de cantidades del orden del kilogramo de aquello(s) materiales seleccionados para su evaluación en dispositivos SOFC de laboratorio.
- Prestaciones de en monoceldas de laboratorio trabajando a 650-700°C de 1 Acm<sup>2</sup> a 0.7 V.
- Ensamblado de celdas simétricas de laboratorio y evaluación de sus prestaciones.
- Proyección de prestaciones de materiales innovadores a escala de 2 kW y comparativa con celdas de 2kW con materiales de T1.1 y los de T3.1 y T3.2.

### ENTREGABLES

ENTREGABLE	RESPONSABLE	TIPO	FECHA
E2.1. Informe sobre el método de preparación de materiales y escalado para su integración en producción de "stacks" SOFC.	IDEA	Informe	M12
E2.2. Informe sobre las prestaciones de nuevos materiales cerámicos como electrodos de aire en celdas SOFC desarrolladas a escala de laboratorio y su comparación con las obtenidas con materiales de actividad 1.	REGENERA	Informe	M22
E2.3 Proyección de las prestaciones que tendrían los materiales innovadores a escala de 2 kW y su comparación con las determinadas experimentalmente (T1.1).	REGENERA	Informe	M23

### ACTIVIDAD 3

### Diseño, desarrollo y ensamblado de sistema SOFC de 50kW

LÍDER	IDEA		
PARTICIPANTES	REGENERA, VODIK		
OIs	USP-CEU, INMA-CSIC, CENER		
FECHA INICIO	M1	FECHA FIN	M16
		DURACIÓN	16 meses

### OBJETIVOS

El objetivo general es el diseño y fabricación de un módulo de pila de combustible SOFC de potencia modular, de entre 10 y 50 kW, a partir de "stacks" SOFC de potencia en torno a los 2 kW. En primera instancia, se ha de seleccionar de entre los existentes en el mercado el "stack" idóneo desde un punto de vista técnico y económico. En función de ello, se desarrollará un diseño de módulo particular a través del cual se optimice el acoplamiento de los "stacks" necesarios (entre 5 y 25), en términos de reducción de pérdida de eficiencia y optimización de elementos externos (p.ej. canalizaciones).

Esta actividad está directamente relacionada con el objetivo del proyecto O04.

### TIPO DE ACTIVIDAD / ÁMBITO DE ACTUACIÓN

Esta actividad de **Desarrollo Experimental** está directamente relacionada con el **ámbito de actuación 1.2**, ya que se centra en el desarrollo de módulos de pila de combustible de potencia variable, como base y fundamento para el desarrollo de sistemas de conversión de hidrógeno verde en electricidad limpia. Los objetivos planteados en esta actividad contribuirán al desarrollo de un componente clave de la cadena de valor del hidrógeno, lo cual permitirá acelerar la integración de este vector como elemento de flexibilidad en un sistema energético basado en energías renovables.

#### DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS

##### **TAREA 3.1. Estudio de materiales electroactivos de “stacks” SOFC de 2 kW (L: IDEA, P: REGENERA) (M1-M6)**

**(Ols subcontratados: USP-CEU)**

En esta tarea IDEA, realizará un análisis técnico-económico de los “stacks” SOFC disponibles en el mercado. Para la realización del estudio de mercado, se establecerá como referencia el valor de 2 kW de potencia nominal por “stack”, si bien se considerarán igualmente “stacks” con potencias de entre 1 kW y 3 kW. El análisis tendrá en cuenta tanto parámetros técnicos (temperatura de trabajo, voltaje de operación, corriente, % utilización de combustible, etc.) como el aspecto económico (precio de compra). Asimismo, en colaboración con USP-CEU, se analizarán los materiales electroactivos utilizados en dichos módulos para tener en cuenta la posible durabilidad de los mismos en función de las prestaciones determinadas a escala de laboratorio en el proyecto o reportadas en la bibliografía. Se establecerán los criterios de compra a partir de los cuales se adquirirán los “stacks” necesarios para el ensamblado de los módulos SOFC en la tarea 3.2. REGENERA utilizará los resultados obtenidos en este estudio como input de la T1.1.

##### **TAREA 3.2. Diseño y ensamblado de “stacks” SOFC de potencia 10 kW y 50 kW (L: IDEA, P: VODIK, GGE) (M4-M16)**

**(Ols subcontratados: CENER, INMA-CSIC)**

La tarea 3.2 se llevará a cabo en varias fases:

- En primer lugar, se realizará un estudio electroquímico preliminar de los “stacks” seleccionados en la tarea 3.1, de cara a la validación de las características técnicas ofrecidas por el fabricante, así como para establecer la referencia interna para el desarrollo de los “stacks” propios en la tarea 1.2. Este estudio consistirá en el análisis del rendimiento del “stack” en función de diferentes parámetros (temperatura de operación, parámetros de entrada de gases, etc.), así como en un estudio de degradación con el tiempo.
- En segundo lugar, en función de los resultados de potencia obtenidos, se diseñará el módulo SOFC necesario para alcanzar las potencias objetivo Figura 5. Se establecen dos niveles de desarrollo en módulos de (i.) 10 kW y (ii.) 50 kW. El diseño del ensamblado incluirá la información necesaria sobre la fluídica, canalizaciones, conectores y demás elementos necesarios para el ensamblado de los módulos.
- Por último, se ensamblarán los módulos de pila de combustible de acuerdo con el diseño desarrollado y a partir de los “stacks” seleccionados y caracterizados en esta actividad. Este módulo representará la parte fundamental del sistema SOFC a desarrollar en la actividad 4.

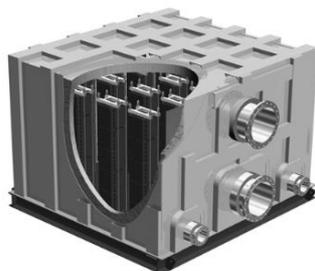


Figura 5. Ejemplo de diseño de módulo SOFC<sup>15</sup>

<sup>15</sup> <https://doi.org/10.1149/1.3142730>

**RESULTADOS ESPERADOS**

Los principales resultados esperados en la actividad 3 son los siguientes:

- Portafolio de "stacks" y análisis exhaustivo de sus capacidades técnicas.
- Diseño de ensamblado de "stacks" de en torno a 2 kW para la fabricación de módulos SOFC de potencia 10 kW.
- Diseño de ensamblado de "stacks" de en torno a 2 kW para la fabricación de módulos SOFC de potencia 50 kW.
- Prototipos de módulos SOFC de potencias 10 y 50 kW.

**ENTREGABLES**

ENTREGABLE	RESPONSABLE	TIPO	FECHA
E3.1. Estudio de mercado de "stacks" SOFC.	IDEA	Informe	M6
E3.2. Caracterización electroquímica de los "stacks" seleccionados, incluyendo rendimiento y estudios de degradación.	IDEA	Informe	M10
E3.3. Ensamblado de módulos SOFC de 10 kW	IDEA	Prototipo	M16
E3.4. Ensamblado de módulos SOFC de hasta 50 kW	IDEA	Prototipo	M16

**ACTIVIDAD 4****Prototipado y balance de planta de sistema SOFC de 50 kW**

<b>LÍDER</b>	VODIK				
<b>PARTICIPANTES</b>	IDEA, REGENERA, GREEN GROUPING				
<b>OIs</b>	CENER				
<b>FECHA INICIO</b>	M4	<b>FECHA FIN</b>	M20	<b>DURACIÓN</b>	17 meses

**OBJETIVOS**

El **objetivo general** es el desarrollo de un sistema de conversión de hidrógeno verde en electricidad de hasta 50 kW basado en módulos SOFC desarrollados en el proyecto. Se desarrollará un diseño a partir de modelizado del sistema, usando software específico, e incluyendo todos los elementos adicionales necesarios para la construcción de un sistema autónomo (balance de planta). Se fabricará un prototipo a partir del modelo desarrollado para su posterior integración experimental en microrredes que utilicen hidrógeno verde como vector energético.

Esta actividad está directamente relacionada con el **objetivo del proyecto OO5**.

**TIPO DE ACTIVIDAD / ÁMBITO DE ACTUACIÓN**

Esta actividad de **Desarrollo Experimental** está directamente relacionada con el **ámbito de actuación 1.2** ya que se centra en el desarrollo de soluciones innovadoras para aumentar la flexibilidad de redes de energía renovables existentes, a partir de un sistema de conversión de hidrógeno en electricidad que permita acoplar de manera efectiva la utilización del hidrógeno verde como vector de almacenamiento y producción de energía bajo demanda.

**DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS**

**TAREA 4.1. Modelizado y diseño del prototipo de sistema SOFC de 10 y 50 kW (L: VODIK, P: IDEA, REGENERA, GREEN GROUPING) (M4-M14)**  
(OIs subcontratados: CENER)

Esta tarea se centra en el desarrollo de un modelo teórico de sistemas SOFC de 10 kW y 50 kW. Para ello, VODIK, en colaboración con CENER, realizará simulaciones con software específico para establecer el diagrama de operación del sistema (ver ejemplo en Figura 6). El modelo se nutrirá de las conclusiones y resultados de la tarea 3.2, construyendo el balance de planta alrededor del módulo SOFC desarrollado en la actividad anterior.

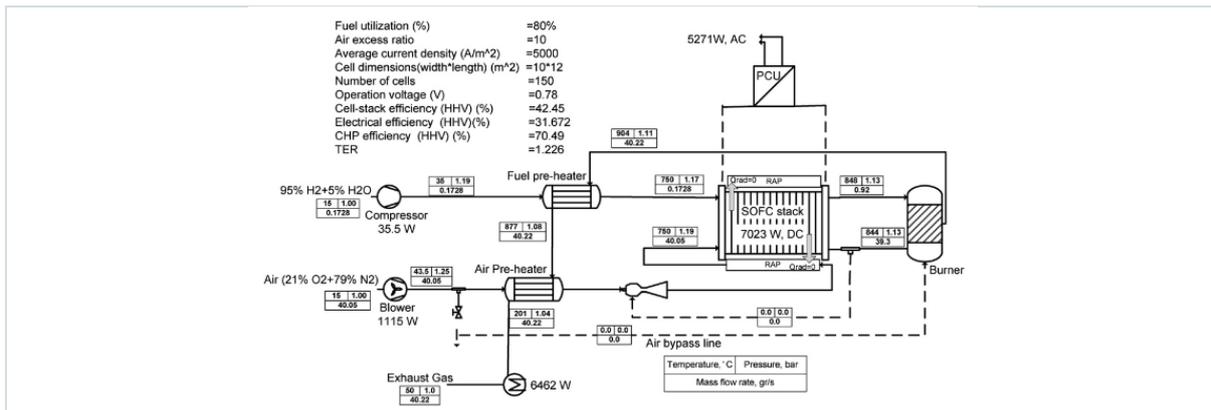


Figura 6. Diagrama del balance de planta de un sistema SOFC (ejemplo)<sup>16</sup>

En esta tarea se diseñará un primer prototipo incluyendo elementos reales (intercambiadores de calor, compresores, etc.) para cada una de las potencias objetivo (~10 kW y ~50 kW). En función de este diseño, se seleccionarán los elementos finales para la construcción de los prototipos en la tarea 4.2.

**TAREA 4.2. Montaje de prototipos, optimización de parámetros y balance de planta (L: VODIK, P: IDEA) (M12-M20) (OIs subcontratados: CENER)**

Esta tarea se enfocará en la construcción de los prototipos de sistema SOFC de 10 y 50 kW en función de las conclusiones obtenidas en la tarea anterior. El sistema final habrá de incorporar todos los elementos adicionales necesarios para la fabricación de un sistema completo “plug&play”. Tomando como referencia los resultados de tareas previas (3.1, 3.2) se establecerán los parámetros de funcionamiento del sistema, entre los que han de destacar:

- Temperatura óptima de operación.
- Composición y pretratamiento de gases de entrada.
- Protocolos de encendido y apagado óptimos.
- Eficiencia esperada considerando el balance de planta, consumo de H<sub>2</sub> y generación de potencia.
- Aprovechamiento del calor residual.

En esta tarea se desarrollará también el módulo de control del sistema SOFC.

**RESULTADOS ESPERADOS**

Los principales resultados esperados en la actividad 4 son los siguientes:

- Modelo teórico de sistemas SOFC de 10 y 50 kW, en base a los módulos SOFC desarrollados en la actividad 3 y el estudio del balance de planta.
- Establecimiento de las condiciones óptimas de operación de los sistemas SOFC de 10 y 50 kW según el diseño y los componentes externos propuestos.
- Construcción de prototipos de 10 y 50 kW incluyendo el módulo SOFC, balance de planta y módulo de control.

**ENTREGABLES**

ENTREGABLE	RESPONSABLE	TIPO	FECHA
E4.1. Modelo del sistema SOFC basado en el ensamblado de “stacks” comerciales de 2 kW.	VODIK	Informe	M14
E4.2. Prototipo de sistemas SOFC de 10 kW, incluyendo todos los componentes necesarios para su integración en entornos reales.	VODIK	Prototipo	M20
E4.3. Prototipo de sistemas SOFC de 50 kW, incluyendo todos los componentes necesarios para su integración en entornos reales.	VODIK	Prototipo	M20

<sup>16</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319909012592>

<b>ACTIVIDAD 5 Integración y validación del sistema SOFC en entornos reales</b>					
<b>LÍDER</b>	GGE				
<b>PARTICIPANTES</b>	IDEA, REGENERA, VODIK				
<b>OIs</b>	CENER, INMA-CSIC				
<b>FECHA INICIO</b>	M14	<b>FECHA FIN</b>	M27	<b>DURACIÓN</b>	14 meses
<b>OBJETIVOS</b>					
<p>El <b>objetivo general</b> es el desarrollo de un prototipo de sistema de conversión de hidrógeno verde en electricidad integrado en microrredes, promoviendo así la utilización del hidrógeno como vector energético que aporte flexibilidad al sistema energético. Se establecen dos microrredes objetivo: a nivel experimental, se selecciona la microrred ATENEA de CENER y a nivel industrial, se la infraestructura desarrollada por GGE en las Bodegas Viñas del Vero. Esta actividad está directamente relacionada con <b>el objetivo del proyecto OO6</b>.</p>					
<b>TIPO DE ACTIVIDAD / ÁMBITO DE ACTUACIÓN</b>					
<p>Esta actividad de <b>Desarrollo Experimental</b> está directamente relacionada con el <b>ámbito de actuación 1.3</b> ya que, con el desarrollo del prototipo propuesto, contribuye a la implementación de la cadena de valor del hidrógeno como elemento de flexibilización de sistemas energéticos basados en energías renovables, optimizando así su producción, transformación, hibridación, almacenamiento e integración segura en redes eléctricas crecientemente digitalizadas y descentralizadas.</p>					
<b>DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS</b>					
<p><b>TAREA 5.1. Integración y validación de sistema SOFC de hasta 50 kW en microrred ATENEA – CENER (L: GGE, P: IDEA, VODIK) (M14-M27)</b> (OIs subcontratados: CENER)</p> <p>En esta tarea se realizará la integración del sistema SOFC en las instalaciones actuales de CENER, en concreto dentro de la microrred ATENEA, ver Figura 7. En primer lugar, en función de los avances en las actividades 3 y 4, se determinará el prototipo idóneo (de entre 10 y 50 kW) a integrar con el resto de los dispositivos de la microrred. A partir de ahí, los trabajos a realizar por GGE y CENER consisten, por un lado, en la propia instalación y acoplamiento del prototipo en las instalaciones disponibles y, por otro lado, el testeo y validación de este una vez instalado. Para ello, se estudiará el modo óptimo para su acoplamiento con las fuentes de energía renovable disponibles en ATENEA (fotovoltaica, eólica) así como su interacción con otros sistemas de almacenamiento energético (baterías, supercaps). Además, se analizará su integración con el electrolizador alcalino ya presente en la microrred y la adaptación de un sistema de compresión y almacenamiento de hidrógeno. Por último, se plantea adaptar el actual sistema de gestión de la energía (EMS, por sus siglas en inglés) desarrollado en CENER, incorporando el sistema SOFC propuesto para la generación de electricidad a partir de H<sub>2</sub>.</p>					
					
<p><i>Figura 7. Microrred ATENEA en las instalaciones de CENER en Sangüesa (Navarra)</i></p>					
<p><b>TAREA 5.2. Integración y validación de sistema SOFC de hasta 50 kW en entorno real de GGE (L: GGE, P: REGENERA) (M14-M27).</b> (OIs subcontratados: INMA-CSIC)</p>					



## 1.4 ELEMENTOS INNOVADORES DEL PROYECTO

### 1.4.1 IDEA GLOBAL Y PROPUESTA INNOVADORA DEL PROYECTO

**SOFC4GreenGrid** se trata de un proyecto innovador en su conjunto en el contexto de la tecnología española. En la actualidad, no existen empresas españolas que fabriquen y comercialicen sistemas tipo SOFC de producción de energía. Este proyecto supone una magnífica oportunidad para iniciar e impulsar tecnología propia, su desarrollo e implementación en nuestro país, de acuerdo con el **primer objetivo específico del proyecto** “**Establecimiento de un procedimiento de fabricación de celdas y stacks SOFC a partir de materiales cerámicos en polvo, para la producción de stacks de potencia ~2 kW**”. Este objetivo incluye un importante contenido de Investigación industrial innovadora en el área de materiales y procesos de fabricación que serán investigados en el contexto del proyecto y evaluados en comparación con el estado del arte para su uso en los módulos de 2 kW. Esto supondrá una innovación destacable al facilitar en gran medida la viabilidad económica y técnica de este tipo de sistemas sostenibles. El OE2 “**implementación y puesta a punto de las infraestructuras necesarias para el diseño, ensamblado, testeo y validación de sistemas SOFC a partir de stacks prefabricados**” supone un reto innovador por parte del consorcio de empresas solicitantes del proyecto, centradas hasta el momento en el sector energético de servicios. El proyecto plantea el desarrollo de sistemas de conversión de hidrógeno verde en electricidad basados en tecnología SOFC y alcanzando potencias reseñables a nivel comercial de hasta 50 kW, para aplicaciones de soporte energético en entornos rurales. En relación a esto, el tercer OE del proyecto “**integración de sistemas SOFC desarrollados en el proyecto en entornos reales, como prueba de concepto para su posterior comercialización**” incluye otro de los aspectos innovadores destacables del proyecto, como es la integración de los sistemas en redes y microrredes en las que se genera hidrógeno verde, incluyendo los estudios de optimización de los parámetros de funcionamiento en estos entornos, algo totalmente novedoso en el estado del arte. **innovación y desarrollo a nivel nacional de dispositivos de conversión de hidrógeno.** En cuanto a los objetivos técnicos del proyecto, el OO2 y OO3 implican la **investigación de materiales innovadores como electrodos de aire de dispositivos SOFC y su implementación en celdas y “stacks” SOFC.** Estos objetivos son de gran importancia en la mejora de la tecnología, puesto que la reducción de costes de fabricación de los materiales y la optimización de sus propiedades, son entre otros, factores limitantes en la comercialización de los sistemas SOFC. A continuación, se muestra un **esquema conceptual de SOFC4GreenGrid** donde se indica el objeto de cada una de las actividades propuestas.

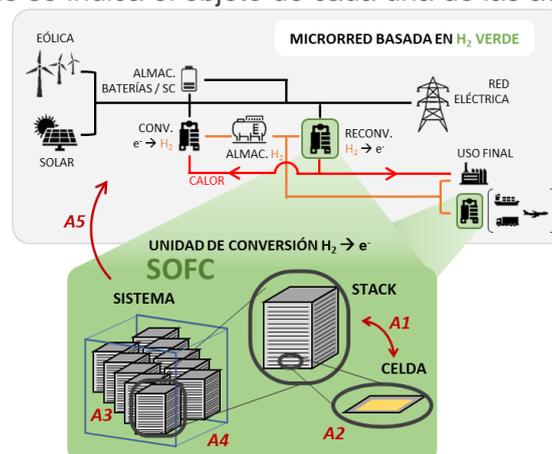


Figura 9. Representación esquemática del proyecto SOFC4GreenGrid en su conjunto

### 1.4.2 ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA

Uno de los principales retos a los que nuestra sociedad se enfrenta actualmente es acelerar la transición energética con la implantación de sistemas limpios, eficientes y que permitan controlar y reducir las consecuencias derivadas del cambio climático. En este contexto, décadas de avances en I+D y desarrollo empresarial permiten vislumbrar un futuro completamente basado en fuentes energéticas de origen renovable. A nivel tecnológico, es

evidente que un sistema energético renovable ha de estar basado en una elevada capacidad de producción de energía, para lo cual es fundamental fomentar la instalación masiva de plantas de producción de energía limpia (eólica y solar fundamentalmente). Sin embargo, la característica e inherente intermitencia de estas fuentes de producción plantean dos retos clave que aún requieren de importantes avances a nivel de investigación y desarrollo:

- (i.) La implementación de un sistema eficiente que aporte flexibilidad a la red energética y así poder adaptar de una manera efectiva la generación y la demanda.
- (ii.) La descarbonización de sectores de difícil electrificación.

Para ello, una de las alternativas más prometedoras es el uso del hidrógeno como vector energético. La conversión de energía eléctrica en energía química (en forma de  $H_2$  o derivados, los conocidos como “portadores de hidrógeno”) permite flexibilizar el sistema al poder almacenar la energía según conveniencia, para posteriormente reconvertirla a electricidad de una forma eficiente y libre de emisiones (ver Figura 10). A nivel tecnológico, la conversión y reconversión de energía en  $H_2$  se basa en procesos electroquímicos. El hidrógeno puede producirse mediante la **electrólisis de agua** o vapor de agua, es decir, la ruptura controlada de la molécula de  $H_2O$  en gases de  $H_2$  y  $O_2$  mediante reacciones de oxidación-reducción. El proceso opuesto permite transformar hidrógeno en electricidad en una **pila de combustible**, retornando la energía química almacenada a la red eléctrica.

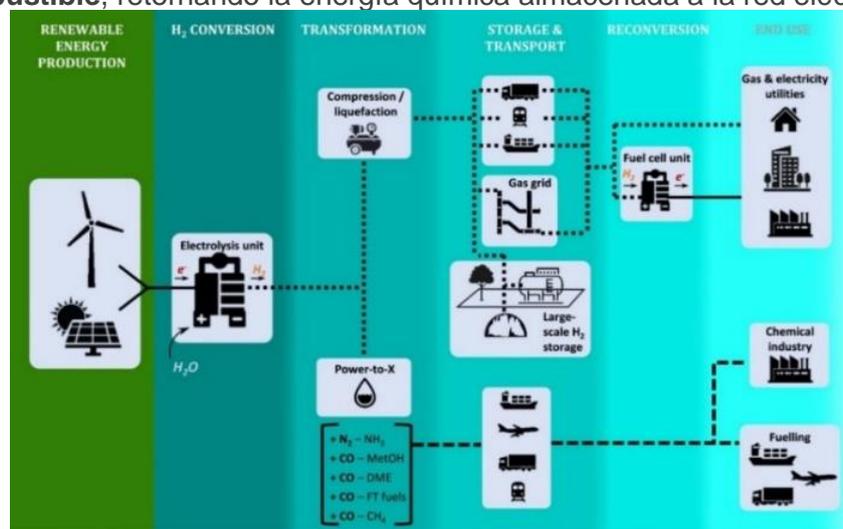


Figura 10. Cadena de valor del hidrógeno verde. Electrólisis como método de producción.

El proyecto **SOFC4GreenGrid** está centrado en el uso del  $H_2$  como combustible en **pilas tipo SOFC**. La Tabla 4 muestra una comparativa de los diferentes tipos de pilas de combustible. La mayor eficiencia de las pilas tipo SOFC junto con otras ventajas como, por ejemplo, la flexibilidad en cuanto al uso de otros combustibles (incluidos biocombustibles), favorecen su aplicación preferencial frente a sus competidoras. Por otro lado, a pesar de que las altas temperaturas de trabajo podrían suponer en principio una desventaja, ésta se mitiga al aprovechar el calor residual para, por ejemplo, calefacción.

Tabla 4. Comparación de diferentes tecnologías de pilas de combustible

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY Energy Efficiency & Renewable Energy FUEL CELL TECHNOLOGIES PROGRAM							
Comparison of Fuel Cell Technologies							
Fuel Cell Type	Common Electrolyte	Operating Temperature	Typical Stack Size	Efficiency	Applications	Advantages	Disadvantages
Polymer Electrolyte Membrane (PEM)	Perfluoro sulfonic acid	50-100°C 122-212°F Typically 80°C	< 1kW-100kW	60% transportation 35% stationary	• Backup power • Portable power • Distributed generation • Transportation • Specialty vehicles	• Solid electrolyte reduces corrosion & electrolyte management problems • Low temperature • Quick start-up	• Expensive catalysts • Sensitive to fuel impurities • Low temperature waste heat
Alkaline (AFC)	Aqueous solution of potassium hydroxide soaked in a matrix	90-100°C 194-212°F	10-100 kW	60%	• Military • Space	• Cathode reaction faster in alkaline electrolyte, leads to high performance • Low cost components	• Sensitive to CO <sub>2</sub> in fuel and air • Electrolyte management
Phosphoric Acid (PAFC)	Phosphoric acid soaked in a matrix	150-200°C 302-392°F	400 kW 100 kW module	40%	• Distributed generation	• Higher temperature enables CHP • Increased tolerance to fuel impurities	• Pt catalyst • Long start up time • Low current and power
Molten Carbonate (MCFC)	Solution of lithium, sodium, and/or potassium carbonates, soaked in a matrix	600-700°C 1102-1292°F	300 kW-3 MW 300 kW module	45-50%	• Electric utility • Distributed generation	• High efficiency • Fuel flexibility • Can use a variety of catalysts • Suitable for CHP	• High temperature corrosion and breakdown of cell components • Long start up time • Low power density
Solid Oxide (SOFC)	Yttria stabilized zirconia	700-1000°C 1302-1832°F	1kW-2 MW	60%	• Auxiliary power • Electric utility • Distributed generation	• High efficiency • Fuel flexibility • Can use a variety of catalysts • Solid electrolyte • Suitable for CHP & CHBIP • Hybrid/GT cycle	• High temperature corrosion and breakdown of cell components • High temperature operation requires long start up time and limits

For More Information  
More information on the Fuel Cell Technologies Program is available at <https://www.hydrogenandfuelcells.energy.gov>.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY Energy Efficiency & Renewable Energy	EERE Information Center 1-877-FERC-INFO (1-877-337-3463) <a href="http://www.eere.energy.gov/informationcenter">www.eere.energy.gov/informationcenter</a> February 2011 Printed with 4-color/CMYK color ink on 100% recycled paper. Includes 10% post-consumer waste.
--	---

Actualmente, la tecnología SOFC se encuentra en una fase de transferencia tecnológica y consolidación, previa a su explotación industrial a gran escala. No en vano, en los últimos años se están realizando proyectos y pruebas de concepto ambiciosas en base a esta tecnología, donde se potencian y maximizan las características diferenciales en cuanto a temperatura de operación, flexibilidad y eficiencia. Si bien el uso principal de los sistemas SOFC es el de aplicaciones estacionarias,<sup>17,18,19</sup> también existen proyectos enfocados a su uso para movilidad.<sup>20</sup> Estos primeros prototipos y productos comerciales demuestran la potencialidad de la tecnología como fuente de alimentación estable y fiable, y sitúan al **proyecto SOFC4GreenGrid** en el marco perfecto para el desarrollo y establecimiento a nivel nacional de capacidades de producción y validación de una tecnología innovadora, prometedora y con gran potencial. Si bien existen empresas comercializando ya prototipos SOFC con diferente grado de desarrollo, el margen de mejora tecnológica aún es amplio. Hoy en día, destacan principalmente los siguientes **aspectos críticos a abordar**:

- Siendo la eficiencia eléctrica uno de los aspectos diferenciales de la tecnología frente a otras, aún existe margen de mejora, sobre todo en prototipos fabricados a escala.
- La reducción y la dependencia de materiales críticos.
- La reducción de la degradación, para asegurar la estabilidad del sistema a largo plazo.
- La fabricación a escala de los dispositivos más innovadores a nivel de laboratorio.

**Los objetivos del proyecto SOFC4GreenGrid están encaminados a la mejora de estos aspectos críticos.** La mejora de prestaciones de las celdas tipo SOFC implica la **mejora de propiedades de los materiales, procesos de fabricación y/o diseño de los componentes funcionales utilizados en la celda (electrodos, electrolitos y interconectores)**. En general los electrodos (cátodo y ánodo) y electrolitos son óxidos cerámicos, o composites cerámicos/metálicos en el caso de los ánodos. El interconector, que debe presentar una alta conductividad eléctrica y térmica, desempeña un papel clave en el apilamiento de celdas unidad SOFC en “stacks”, estrategia utilizada para incrementar la potencia total del dispositivo. Esta pieza metálica conecta las celdas individuales y actúa no solo como un colector de corriente, sino también como una barrera física que separa las atmósferas gaseosas del electrodo de H<sub>2</sub> y del electrodo de O<sub>2</sub> entre dos celdas adyacentes. Los electrolitos deben poseer elevada conductividad iónica (de iones O<sup>2-</sup> o H<sup>+</sup>, según el material

<sup>17</sup> <https://www.bosch.com/stories/sofc-system/>

<sup>18</sup> <https://convion.fi/convions-c60-fuel-cell-system-creates-clean-energy-and-excellent-reliability-for-smart-micro-grid-in-lempaala/>

<sup>19</sup> <https://www.bloomenergy.com/applications/hydrogen-fuel-cells/>

<sup>20</sup> [https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/E\\_BIO\\_FUEL\\_CELL/](https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/E_BIO_FUEL_CELL/)

escogido; en concreto el **proyecto SOFC4GreenGrid** se centra en la producción de celdas con electrolitos conductores de iones  $O^{2-}$ ), nula conductividad electrónica, alta estabilidad química y mecánica y coeficientes de expansión térmica relativamente bajos. Los electrodos deben ser catalizadores de las reacciones de oxidación y reducción que se producen, ser conductores electrónicos y en la medida de lo posible presentar conductividad iónica suficiente (conductores mixtos, MIECs<sup>21</sup>), ser estables química y mecánicamente con coeficientes de expansión térmica relativamente bajos. Para asegurar la estabilidad del dispositivo, (mecánica, estructural y química) los coeficientes de expansión térmica deben ser similares en todos los componentes (electrolito, electrodos e interconector) y no deben reaccionar entre sí a las temperaturas de trabajo de la celda.

Además, en general, a la hora de desarrollar cada componente funcional de la celda, se debe prestar un especial interés a la **microestructura de los materiales** y a su posible modificación a lo largo del **proceso de fabricación** del dispositivo SOFC y/o en condiciones de operación, con el fin de evitar problemas de delaminación y de pérdida de contacto en cualquiera de las interfases electrodo/electrolito/conector. En cuanto a los materiales empleados para los diferentes componentes, podemos encontrar los siguientes compuestos:

- **Electrolito.** Se han estudiado multitud de compuestos conductores iónicos (algunos con una elevada conductividad de  $O^{2-}$ ) que presentan diversos inconvenientes respecto a su estabilidad electroquímica o térmica. Por ello, los materiales estado del arte considerados actualmente de preferencia para la aplicación en dispositivos se reducen a unos pocos aquí citados:
  - La zirconia estabilizada con itria, YSZ por sus siglas en inglés, es el material de electrolito por excelencia. De composición  $(ZrO_2)_{0.92}(Y_2O_3)_{0.08}$  (existen variantes con diferente porcentaje de ytria), presenta gran estabilidad térmica, química y mecánica, así como elevada conductividad iónica a altas temperaturas (800-1000 °C). Dopado con Sc aumenta la conductividad iónica.
  - La ceria dopada con gadolinio, CGO (“*Cerium Gadolinium Oxide*”) es la principal alternativa al YSZ. Se trata de un óxido de cerio y gadolinio de composición  $Ce_{0.8}Gd_{0.2}O_{1.9}$ . Tiene gran estabilidad térmica, química y mecánica, así como elevada conductividad iónica a temperaturas intermedias (600-800 °C). Sin embargo, sufre reducción de  $Ce^{4+}$  a  $Ce^{3+}$  a altas temperaturas, atmósferas reductoras y altos voltajes. El  $CeO_2$  dopado con Sm presenta las mismas propiedades que dopado con Gd.
  - El óxido de composición  $La_{0.9}Sr_{0.1}Ga_{0.8}Mg_{0.2}O_{3-\delta}$  (LSGM) presenta gran estabilidad térmica, química y mecánica, así como elevada conductividad iónica a temperaturas intermedias (600-800 °C).
  - YSZ: de composición  $Zr_{0.8}Y_{0.2}O_{1.9}$ . Presenta gran estabilidad térmica, química y mecánica, así como elevada conductividad iónica a altas temperaturas (800-1000 °C). Dopado con Sc aumenta la conductividad iónica.
  - CGO (Gadolinia-Stabilized Ceria): óxido de Ce dopado con Gd de composición  $Ce_{0.8}Gd_{0.2}O_{1.9}$ . Tiene gran estabilidad térmica, química y mecánica, así como elevada conductividad iónica a temperaturas intermedias (600-800 °C). Sin embargo, sufre reducción de  $Ce^{4+}$  a  $Ce^{3+}$  a altas temperaturas, atmósferas reductoras y altos voltajes. El  $CeO_2$  dopado con Sm presenta las mismas propiedades que dopado con Gd.
  - LSGM: óxido de composición  $La_{0.9}Sr_{0.1}Ga_{0.8}Mg_{0.2}O_{3-\delta}$ . Presenta gran estabilidad térmica, química y mecánica, así como elevada conductividad iónica a temperaturas intermedias (600-800 °C).
  - Se han estudiado otros muchos compuestos con una elevada conductividad aniónica que se han propuesto como electrolitos sólidos para SOFCs. Sin embargo, los anteriormente mencionados son los que actualmente se consideran de preferencia para la aplicación en dispositivos.
- **Electrodos.** Los cermets Ni/YSZ y Ni/SDC (SDC, *Scandia Doped Ceria*) son los utilizados como electrodo de combustible (ánodo). Sin embargo, la degradación del composite en

<sup>21</sup> MIECs: conductor mixto iónico y electrónico (*mixed ionic and electronic conductor, MIEC*)

las condiciones de trabajo, principalmente por oxidación del Ni, han intensificado la búsqueda de nuevos materiales. Desde 2008 que se publicaron las excelentes propiedades del óxido tipo perovskita  $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Mn}_{0.5}\text{Cr}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$  como electrodo de combustible en SOFCs, este compuesto se ha convertido en una alternativa viable a los cermetes de Ni. El material LSM ( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_{3-\delta}$  con  $x = 0.10-0.20$ ), los composites LSM/YSZ y LSM/GDC y otros materiales de Co y Co/Fe como LSC ( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_{3-y}$ ) o LSCF ( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Co}_y\text{O}_{3-z}$ ) han demostrado su eficacia como electrodos de oxígeno (cátodos). De igual forma que en el caso de los ánodos, se están desarrollando nuevos materiales tipo perovskita como cátodos para SOFCs, como por ejemplo  $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1.0}\text{Mo}_{1.0}\text{O}_{6-\delta}$ , que presenta excelentes prestaciones. De gran interés son los materiales con funcionalidad reversible que actúan como ánodo y como cátodo en las denominadas celdas SOC simétricas (SSOC, *Symmetrical Solid Oxide Cell*) y que presentan estabilidad electroquímica en diferentes condiciones de oxidación/reducción, lo que les permiten funcionar tanto en modo SOFC como SOEC. Este tipo de dispositivos presentan enormes ventajas de funcionamiento y de fabricación. Son de destacar materiales tipo perovskita para este tipo de dispositivos simétricos y reversibles. El primer óxido tipo perovskita que demostró estas propiedades fue el  $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Mn}_{0.5}\text{Cr}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$  a partir del cual se han estudiado otros como por ejemplo  $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$ ,  $\text{La}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$ ,  $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{CrO}_{3-\delta}$  y  $\text{Sr}_2\text{Fe}_{1.5}\text{Mo}_{0.5}\text{O}_{3-\delta}$ .

- **Interconectores.** Generalmente se basan en aceros inoxidables con alto contenido de cromo o aleaciones de cromo fabricadas por pulvimetalurgia, en particular, Crofer 22 APU o 22H, Ducralloy, CFY y CrFe5 son los más empleados. En ambos tipos de materiales, se forman óxidos de cromo cuando se opera a altas temperaturas, protegiendo la pieza de interconector. Uno de los principales problemas de estos materiales con alto contenido en cromo es la evaporación y migración de este metal, que puede degradar las prestaciones del dispositivo. Para evitar estos problemas, se aplican capas de contacto/protección con diferentes óxidos, siendo los más utilizados  $\text{La}_{0.97}\text{Mn}_{0.4}\text{Co}_{0.3}\text{Cu}_{0.3}\text{O}_{3-\delta}$  y la espinela de manganeso, cobalto y hierro.

El proyecto SOFC4GreenGrid plantea objetivos encaminados a desarrollar **materiales para cátodos de SOFC que no contengan elementos estratégicos** y que presenten propiedades electrocatalíticas similares a los de estado del arte. Además, se pretende optimizar la preparación de estos materiales a gran escala, así como resolver los **problemas de degradación que sufren los materiales en su funcionamiento**. Todo ello, permitirá **reducir costes de producción y aumentar la eficacia de los dispositivos**.

En cuanto a **la transferencia y escalado**, es importante destacar la relevancia que está adquiriendo el diseño y optimización de los diferentes componentes del sistema en la actualidad, así como la integración de aquellos elementos adicionales a la pila de combustible, pero igualmente necesarios a la hora de desarrollar un sistema comercial (convertidor, canalizaciones, recuperadores de calor, etc.; lo que se conoce como balance de planta). En términos de diseño, existe un amplio abanico de posibilidades en cuanto a la propia configuración de la celda (tubular o planar principalmente) o estructuras (soportada en electrolito, en electrodo o en metal). En general, las configuraciones planares y soportadas en electrodo de hidrógeno son la opción preferente debido a una fabricación más sencilla y un mayor rendimiento electroquímico. Por ello, la **configuración planar** es el punto de partida escogido para el proyecto SOFC4GreenGrid.

Una vez optimizada cada celda SOFC individual, cobra especial relevancia la optimización del "stack" que, como se ha mencionado anteriormente, se trata de los módulos a través de los cuales se consigue aumentar la potencia nominal del dispositivo mediante el apilamiento de celdas. En este punto, el diseño de una buena fluídica del sistema (canalizaciones de gases, su distribución a cada celda individual mediante la micromecanización de los interconectores, aislamiento efectivo de los electrodos de aire e hidrógeno) es fundamental para asegurar un aprovechamiento óptimo de toda la superficie activa de las celdas y así maximizar la eficiencia. Además, es muy importante considerar la gestión del calor, ya que se trata de dispositivos que funcionan a alta temperatura y que, en funcionamiento, generan calor residual (reacciones exotérmicas). En este sentido, un elemento fundamental en el desarrollo de un sistema SOFC,

como el propuesto en SOFC4GreenGrID, es el análisis del escalado a través de estudios de modelado multi-escala. De cara a la producción de sistemas eficientes y competitivos, el rol del modelado está adquiriendo una importancia crítica, ya que proporciona el conocimiento necesario para optimizar el sistema en múltiples niveles: desde los materiales funcionales y su microestructura hasta la configuración de celda, diseño de interconector o incluso parámetros de funcionamiento óptimos. Esto no sólo permite mejorar la eficiencia, sino también reducir costes de operación y fabricación. Las posibilidades de optimización son innumerables, debido a que suponen la combinación de un diseño de celda concreto, con unos materiales determinados y una estrategia de apilamiento específica.

En SOFC4GreenGrID, en primer lugar, se plantean **estudios de modelado** a nivel de “stack” de cara a comprender y controlar el funcionamiento de cada módulo SOFC. Para ello, se utilizarán métodos de dinámica de fluidos computacional, a partir de los cuales se pretende optimizar el apilamiento de las celdas individuales, el diseño de los interconectores, la geometría del dispositivo, las canalizaciones y gestión de la temperatura. En segundo lugar, se llevarán a cabo estudios de modelado a nivel de sistema, donde se considera no sólo el módulo SOFC sino también el resto de los componentes adicionales (**balance de planta**). Esto permitirá establecer el protocolo de funcionamiento óptimo del sistema para cada entorno particular. En este sentido, este estudio estará estrechamente relacionado con la **integración final del sistema en entornos reales**, ya que por un lado servirá como base para la implementación del prototipo final y, por otro, se nutrirá de los resultados experimentales para validar y mejorar el modelo a futuro.

#### 1.4.3 INCREMENTOS CIENTÍFICO-TECNOLÓGICOS

El proyecto SOFC4GreenGrID pretende **investigar en dos líneas complementarias que confluirán en la fabricación de dispositivos de conversión de hidrógeno verde en electricidad basados en celdas y “stacks” SOFC de diseño propio y componentes funcionales singulares: (1) Desarrollo y optimización de módulos SOFC de 2 kW basados en tecnología propia**, incluyendo la evaluación de nuevos materiales innovadores para su posterior integración como electrodos de aire en las pilas; y (2) **Diseño y fabricación de sistemas SOFC de hasta 50 kW**, que comprende el ensamblado de módulos SOFC hasta la potencia deseada, el balance de planta y la optimización de parámetros de funcionamiento en entornos reales.

Por tanto, **los resultados que se obtendrán tras la finalización del proyecto SOFC4GreenGrID implicarán una novedad a nivel mundial** puesto que no se conocen soluciones similares en el mercado. A continuación, se presentan los principales **incrementos científico-tecnológicos (ICT)** según los ámbitos de actuación que propone la Misión 1. Así mismo, se resume el salto tecnológico del proyecto respecto al estado actual de la técnica.

#### ÁMBITO DE ACTUACIÓN 1.2 – HIDRÓGENO VERDE O DE FUENTES RENOVABLES.

**ICT 1. Mejora de la eficiencia eléctrica y establecimiento de un proceso de fabricación optimizado de celdas y “stacks” SOFC de 2 kW.** De esta manera se optimizará un proceso de fabricación que posibilitará la adopción de esta tecnología en el mercado actual desde un punto de vista técnico-económico. [OE1]

**ICT 2. Consolidación de una infraestructura nacional para la fabricación e integración de sistemas de conversión de hidrógeno verde en electricidad basados en tecnología SOFC** estableciendo la tecnología de pilas SOFC como una alternativa atractiva a nivel técnico y económico. Dando pie a su vez a futuros proyectos innovadores que puedan tomar como base los resultados logrados. [OE2 y OE3]

ICT	ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA	SALTO TECNOLÓGICO SOFC4GreenGrID
1	Partiendo de “stacks” SOFC comerciales se establece como referencia una potencia por unidad de área de $\sim 0,7 \text{ Wcm}^{-2}$ . La eficiencia eléctrica de estos	Establecimiento de un procedimiento de fabricación de celdas y “stacks” de potencia $\sim 2\text{kW}$ con mayores prestaciones que los utilizados en los dispositivos disponibles actualmente. La optimización del proceso

	sistemas tiene valores entorno al 50-60% (ver sección 1.2)	asistida por estudios de modelizado permitirá la mejora de la eficiencia de las celdas y “stacks”. Adicionalmente, la optimización del proceso de preparación de materiales asegurará la producción de grandes cantidades, estableciendo así las bases para un futuro escalado a producción automatizada.
2	Actualmente la tecnología SOFC se encuentra en fase de transferencia tecnológica y consolidación previa a su explotación industrial (TRL~5-6).	Avanzar en la consolidación de la tecnología a nivel nacional y ensayar la integración los sistemas SOFC 50 kW desarrollados en entornos reales, como prueba de concepto para su posterior comercialización.

### ÁMBITO DE ACTUACIÓN 1.3 – ENERGÍAS RENOVABLES

Los principales incrementos científico-tecnológicos dentro de este ámbito de mejora son:

**ICT 3. Estimular el desarrollo de todas aquellas soluciones que permitan disminuir su dependencia de materiales críticos.** Es uno de los puntos más importantes que se buscan lograr en el proyecto y está alineado con la Misión en la que se enmarca el proyecto. [OE1].

**ICT4. Estimular el desarrollo de soluciones innovadoras en los diferentes sistemas de energías renovables existentes para la optimización de su almacenamiento e integración segura en redes eléctricas crecientemente digitalizadas y descentralizadas.** [OE3]

ICT	ESTADO ACTUAL DE LA TÉCNICA	SALTO TECNOLÓGICO
3	Se comercializan prototipos SOFC con un elevado coste de producción y amplio margen de mejora de la eficacia, que presentan problemas de degradación y que contienen elementos estratégicos. Además, los métodos de preparación de los materiales componentes suponen varias etapas que encarece el producto.	Producción de materiales con propiedades competitivas, baratos, respetuosos con el medio ambiente, libres de elementos críticos, usando métodos limpios, escalables y rápidos. Si los materiales a evaluar en el proyecto pueden actuar también como ánodo SOFC, el ahorro de costes puede ser mayor.
4	La incorporación masiva de sistemas de energías renovables en la red de producción y distribución de energía necesita de sistemas de almacenamiento. Actualmente, los sistemas de almacenamiento de energía renovable considerados mayoritariamente son las baterías.	Avance en el desarrollo de los sistemas de producción de H <sub>2</sub> renovable en combinación con sistemas de uso del mismo (SOFC) como alternativa de interés en el almacenamiento de energía renovable. Los sistemas desarrollados en el proyecto se integrarán en (i) la microrred ATENEA-CENER, para su acoplamiento con diversas fuentes de energía renovable y otros sistemas de almacenamiento energético (incluidos electrolizadores); (ii) y en la microrred industrial real de Bodegas Viñas del Vero (GGE), que cuenta con un electrolizador y sistemas de almacenamiento y autoconsumo fotovoltaico

### 1.5 TAREAS REALIZADAS POR ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN

Para la ejecución del proyecto SOFC4GreenGrid, se contará con la colaboración de **4 organismos de investigación** (Centros Tecnológicos y Universidades) con amplia experiencia en las líneas de investigación del proyecto: materiales, pilas de combustible de estado sólido, energías renovables. A continuación, se detalla cada una de las colaboraciones:

### 1.5.1 CENTRO NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES

CENER es un centro tecnológico especializado en la investigación aplicada y en el desarrollo y fomento de las energías renovables. Su fin es apoyar la actividad de I+D+i de las empresas mediante la prestación de servicios tecnológicos y realización de proyectos de I+D, haciendo posible la máxima penetración de las energías renovables en el sistema energético. La sede de CENER está situada en Sarriguren (Navarra), aunque dispone de instalaciones en otros emplazamientos como Aoiz, Sangüesa, y Sevilla. Está dotado de unas infraestructuras tecnológicas con los más modernos laboratorios e instalaciones a nivel europeo y mundial. Recientemente el centro apostó por la creación de una nueva área de H<sub>2</sub> dentro del departamento de integración en red, provista con unas instalaciones de 300 m<sup>2</sup> para albergar el equipamiento específico y los suministros para el desarrollo de su actividad.

El área de H<sub>2</sub> cuenta con capacidades de desarrollo de celdas unidad y “stacks” SOFC, tanto desde un punto de vista de fabricación (desarrollo de tintas cerámicas, depósito de capas y sinterizado) como de caracterización (bancos de ensayo de diferente potencia, hasta 2 kW) y modelizado (know-how y software específico). Asimismo, el departamento es propietario de la microrred ATENEA, que cuenta con diversas fuentes de generación de energía (instalación fotovoltaica de 25 kWp, un aerogenerador de 20 kW, etc.), así como diversos bancos de almacenamiento (baterías de plomo con capacidad de 100 kWh, baterías de flujo de Vanadio de 200 kWh, etc.). Recientemente se ha completado con un electrolizador alcalino de 70 kW, para la conversión de energía eléctrica en hidrógeno verde. En el presente proyecto, se solicita la subcontratación de CENER en las siguientes actividades y tareas:

- En la A1, T1.1 y T1.2 (REGENERA). CENER cuenta con el equipamiento y conocimiento necesario para el desarrollo de las actividades en cuanto al desarrollo de tintas cerámicas, la fabricación de celdas por depósito de capas delgadas funcionales y la caracterización de celdas y “stacks”, hasta potencias de 2 kW.
- En la A3, T3.2 (IDEA). CENER aporta el equipamiento y conocimiento necesario para la caracterización de “stacks” de 2 kW (bancos de ensayo electroquímico), así como capacidades de diseño y modelizado de sistemas para el ensamblado de “stacks”.
- En la A4, T4.1 y T4.2 (VODIK). La experiencia previa y software disponible en CENER será clave para el desarrollo del modelo de sistema SOFC de 10 y 50 kW a partir de “stacks” comerciales.
- En la A5, T5.1 (GGE). El departamento de Integración en Red de CENER es propietario y gestor de la microrred ATENEA, donde se plantea la integración del sistema SOFC a desarrollar. La experiencia previa, conocimiento de las instalaciones y control de estas será fundamental para el desarrollo de esta tarea.

*Tabla 5. Participación de CENER en el proyecto*

Actividad	Tarea	Descripción
A1	T1.1	Fabricación de celdas avanzadas de geometría planar y nuevos diseños de “stacks” SOFC de 2 kW, con materiales y microestructuras optimizadas
A1	T1.2	Caracterización de celdas SOFC de geometría planar y “stacks” de 2 kW
A3	T3.2	Ensamblado de “stacks” SOFC de potencia 10 kW y 50 kW con celdas comerciales
A4	T4.1	Modelizado y diseño del prototipo de sistema SOFC de 10 y 50 kW
A4	T4.2	Montaje de prototipos, optimización de parámetros y balance de planta
A5	T5.1	Integración de sistema SOFC de hasta 50 kW en microrred ATENEA – CENER
<b>Presupuesto previsto 250.000 €</b>		

El proyecto SOFC4GreenGrid contará con la participación de los siguientes investigadores:

- **Dr. Iñigo Garbayo (investigador principal):** licenciado en Química y doctor en Nanociencias (2013) por la Universidad de Barcelona- Instituto de Microelectrónica de Barcelona. Acumula 10 años de experiencia en I+D en diferentes centros nacionales e

internacionales. Ha publicado más de 25 artículos científicos, 2 capítulos de libro, 4 patentes y contribuido en más de 50 conferencias. Su actividad de investigación se enfoca en la producción de H<sub>2</sub> verde mediante electrólisis.

- **Dra. Mónica Aguado:** Doctora en Ingeniería Industrial por la Universidad Pública de Navarra (UPNA), acumula 25 años de experiencia en I+D. Es profesora asociada de la UPNA y combina su actividad como directora del Departamento de Integración en Red de CENER (desde 2003). Ha publicado más de 35 artículos científicos y participado en más de 70 conferencias, grupos de expertos y comités nacionales e internacionales.
- **Dr. Xabier Júdez.** Graduado en Ingeniería Química (2015), realizó un doctorado en el CIC-energiGUNE centrado en el estudio de nuevos materiales para baterías. Tras 2 postdoctorados en el CEA Grenoble y CIC-energiGUNE, recientemente se ha unido al área de H<sub>2</sub> para el desarrollo de electrolizadores para la obtención de H<sub>2</sub> verde. Ha publicado más de 20 artículos y contribuido a 8 conferencias.
- **Dra. Paula Ciaurriz:** graduada en Química y doctora en Biotecnología (Universidad Pública de Navarra, 2017). Cuenta con más de 10 años de experiencia en centros de investigación, participando en proyectos a nivel nacional e internacional. Especializada en la modificación de superficies para su aplicación como sensores, recientemente se ha incorporado a CENER para el desarrollo de electrolizadores de óxido sólido.

### 1.5.2 UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

El grupo de la Prof. García Martín, de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, es especialista en la síntesis, caracterización estructural y estudio de propiedades eléctricas y electroquímicas de materiales inorgánicos. En particular, en el uso de técnicas avanzadas de microscopía electrónica de transmisión con resolución atómica para la determinación de la estructura y microestructura cristalinas de materiales, así como de su caracterización eléctrica mediante espectroscopia de impedancia compleja. En el contexto del presente proyecto, el grupo ha desarrollado materiales para electrodos de aire en pilas de combustible tipo SOFC. Estos estudios, financiados por diversos proyectos competitivos, han sido reportados en un significativo número de publicaciones científicas de alto índice de impacto y han dado lugar a dos Tesis Doctorales en los últimos cinco años, además de una que actualmente está en curso. Los materiales desarrollados en el grupo de la UCM se utilizarán para el desarrollo de celdas a escala de laboratorio como primera etapa de evaluación de sus prestaciones para el desarrollo de celdas a escalas superiores.

Se solicita la subcontratación de la UCM por parte de REGENERA en las actividades A1 y A2, concretamente en las tareas T1.1, T1.2 para la fabricación y caracterización de celdas SOFC con materiales optimizados, en la T2.2. para el estudio de nuevos materiales como electrodos de aire de SOFCs y en la T2.3. para el desarrollo de una celda SOFC a escala de laboratorio con nuevos materiales como electrodos de aire.

*Tabla 6. Participación de UCM en el proyecto*

Actividad	Tarea	Descripción
A1	T1.1	Fabricación de celdas avanzadas de geometría planar y nuevos diseños de "stacks" SOFC de 2 kW, con materiales y microestructuras optimizadas
A1	T1.2	Caracterización de celdas SOFC de geometría planar y "stacks" de 2 kW
A2	T2.2	Estudio de nuevos materiales como electrodos de aire de SOFCs
A2	T2.3	Diseño, ensamblado y caracterización de prestaciones de una celda SOFC a escala de laboratorio (1 A cm <sup>-2</sup> a 650-700 °C y 0.5V) con nuevos materiales como electrodos de aire
<b>Presupuesto previsto 135.000 €</b>		

El proyecto SOFC4GreenGrid contará con la participación de los siguientes investigadores:

- **Susana García Martín (investigador principal):** Es Catedrática en el Departamento de Química Inorgánica de la Facultad de Química. En los últimos diez años, su investigación se ha centrado en el estudio de materiales conductores mixtos con potenciales

aplicaciones como electrodos de SOFCs. Los principales resultados de su investigación se resumen en 90 publicaciones científicas. Ha participado en más de 30 proyectos de investigación. Es una de las promotoras de la empresa de base tecnológica NeST (New Energy Storage Technology).

### 1.5.3 INSTITUTO DE NANOCIENCIA Y MATERIALES DE ARAGÓN-CSIC

Se solicita la subcontratación del INMA-CSIC por parte de REGENERA en la actividad A1, y más concretamente en la tarea T1.1. de fabricación de celdas avanzadas de geometría planar y nuevos diseños de “stacks” SOFC de 2 kW, con materiales y microestructuras optimizadas y en la tarea T1.2. para la caracterización de celdas SOFC de geometría planar y “stacks” de 2 kW. El grupo del Dr. Laguna del INMA-CSIC lleva desarrollando celdas planares SOFC desde hace más de 20 años, dispone de tecnología propia para realizar transferencia a la empresa por lo que está plenamente justificada su contratación en ambas tareas. En concreto son esenciales las técnicas de procesado cerámico, así como la caracterización electroquímica de pequeños dispositivos, para los que dispone de la infraestructura requerida. Por otro lado, se solicita la subcontratación del INMA-CSIC por parte de IDEA en la actividad A2, y dentro de esta en la T2.3. para el desarrollo de una celda SOFC a escala de laboratorio con nuevos materiales como electrodos de aire; en la actividad A3, para la T3.2 de ensamblado de “stacks” SOFC de potencia 10 kW y 50 kW con celdas comerciales. Análisis del “stack” comercial (caracterización mecánica y electroquímica) y el diseño del ensamblado (fluídica, conectores, etc.); y para la T3.3 de caracterización de “stacks” SOFC de potencia 10 kW y 50 kW. Se justifica la subcontratación del CSIC nuevamente por su amplia experiencia en el campo, en concreto en técnicas de procesado y fabricación de celdas SOFC a escala de laboratorio (T2.3), experiencia en fabricación de “stacks” SOFC (T3.2).

Por último, se solicita la subcontratación del INMA-CSIC por parte de GGE para desarrollar la tarea T5.2 de integración de sistema SOFC de hasta 50 kW en entorno real de GGE dentro de la actividad A5. Nuevamente, la experiencia y el conocimiento del grupo INMA-CSIC en la tecnología SOFC, es esencial para una correcta integración de este tipo de dispositivos en entornos reales.

Tabla 7. Participación de INMA-CSIC en el proyecto

Actividad	Tarea	Descripción
A1	T1.1	Fabricación de celdas avanzadas de geometría planar y nuevos diseños de “stacks” SOFC de 2 kW, con materiales y microestructuras optimizadas
A1	T1.2	Caracterización de celdas SOFC de geometría planar y “stacks” de 2 kW
A2	T2.3	Diseño, ensamblado y caracterización de prestaciones de una celda SOFC a escala de laboratorio (1 Acm-2 a 650-700 °C y 0.5V) con nuevos materiales como electrodos de aire
A3	T3.2	Ensamblado de “stacks” SOFC de potencia 10 kW y 50 kW con celdas comerciales
A5	T5.2	Integración de sistema SOFC de hasta 50 kW en entorno real de GGE
<b>Presupuesto previsto 120.100 €</b>		

El proyecto SOFC4GreenGrid contará con la participación de los siguientes investigadores:

- **Dr. Miguel A. Laguna**, Científico Titular del CSIC en el INMA y profesor colaborador en la Universidad de Zaragoza. Doctor en Ciencias por la Universidad de Zaragoza, acumula más de 20 años de experiencia en pilas de combustible y electrolizadores de óxido sólido. Ha trabajado como investigador asociado en el Imperial College (Londres) Ha publicado más de 80 artículos científicos e impartido más de 20 conferencias por invitación. Forma parte de Steering Committee de la línea de trabajo de Hidrógeno y Pilas de Combustible de la European Energy Research Alliance (EERA).
- **Dra Alodia Orera**: Profesora contratado doctor en la Universidad de Zaragoza e investigadora del INMA. Doctora por la Universidad de Carlos III de Madrid. Acumula 20 años de experiencia en I+D en diferentes centros nacionales e internacionales. Ha

publicado más de 50 artículos científicos, 2 capítulos de libro, 3 patentes y contribuido en más de 100 conferencias. Su actividad de investigación se enfoca en el desarrollo de nuevos materiales para energía, incluyendo pilas de combustible, electrolizadores y baterías avanzadas.

#### 1.5.4 UNIVERSIDAD CEU SAN PABLO

El grupo de la USP-CEU (CEU-ESYMAT) tiene amplia experiencia en el diseño de nuevos materiales para cátodos SOFC de altas prestaciones. Así mismo, acredita una capacidad contrastada para la síntesis por métodos no convencionales tales como coprecipitación, combustión (por microondas, en estado sólido, en disolución) o sol-gel, tanto de materiales como de composites. Se poseen los conocimientos y la experiencia necesarias para abordar el diseño de los métodos de producción en grandes cantidades (del orden del kg) de modo eficiente, económico y rápido, de un amplio abanico de sistemas SOFC novedosos previamente estudiados en el grupo. Algunos de estos materiales se utilizarán para el desarrollo de celdas a escala de laboratorio y la evaluación de su potencial uso para la construcción de celdas de mayor escala. Toda esta experiencia previa se ha llevado a cabo en el marco de diversos proyectos previos, y han dado lugar a un número relevante de publicaciones en revistas de alto impacto en el campo. Los materiales preparados por vías no convencionales presentan características estructurales y microestructurales especialmente ventajosas para la aplicación SOFC (pequeño tamaño de partícula, alta superficie específica, composición química fácilmente ajustable, etc.). El grupo USP-CEU es especialista en métodos y técnicas de caracterización estructural, microestructural y propiedades eléctricas/electroquímicas de este tipo de materiales, disponiendo del equipamiento necesario para la caracterización de rutina (difractómetros de rayos-X, microscopía electrónica de barrido, analizadores de impedancia, potencióstatos, etc.) y siendo usuarios habituales de grandes instalaciones europeas, tanto de radiación sincrotrón (ESRF, ALBA) como de neutrones (ILL). En relación con los "stacks" SOFC disponibles en el mercado, el grupo ha ido siguiendo en los últimos años la evolución de estos en relación con las prestaciones ofertadas y, cuando la información ha estado disponible, los materiales empleados para su desarrollo con el objeto de evaluar la proyección hacia el mercado que los materiales propios pudieran tener. Se solicita la subcontratación de la USP-CEU por parte de IDEA en la actividad A2, en las tareas T2.1 de optimización de métodos de preparación de materiales y evaluación de costes de escalado y por parte de REGENERA para la tarea T2.2 dirigida al estudio de nuevos materiales como electrodos de aire de SOFCs. Por otro lado, IDEA también subcontratará a este organismo para la Valoración de prestaciones y costes de "stacks" SOFC comerciales de 2 kW en la A3, T3.1.

Tabla 8. Participación de USP-CEU en el proyecto

Actividad	Tarea	Descripción
A2	T2.1	Análisis de la preparación a escala de materiales cerámicos funcionales alternativos al estado del arte actual, para su posterior integración en sistemas SOFC producidos en el proyecto
A2	T2.2	Preparación y caracterización de materiales alternativos a los de estado del arte con elementos abundantes en la naturaleza y reducción de costes de producción. Incluye el análisis estructural (fase cristalina, pureza, estabilidad y microestructura) y electroquímico (conductividad y electrocatálisis)
A3	T3.1	Estudio de mercado de "stacks" SOFC comerciales de 2 kW
<b>Presupuesto previsto 85.000 €</b>		

El proyecto SOFC4GreenGrid contará con la participación de los siguientes investigadores:

- **Ulises Julio Amador Elizondo (investigador principal)**. Catedrático y Director del Laboratorio de Rayos-X y Microscopía Electrónica de Barrido de la USP-CEU. Recientemente trabaja en materiales para la producción de hidrógeno verde por "water splitting" y valorización de CO<sub>2</sub> por conversión en CO. Es coinventor de la patente española P202130203 (2021) y uno de los Promotores de la empresa de base tecnológica

NeST (New Energy Storage Technology). Los resultados de su actividad científica se resumen en 164 publicaciones. Ha participado en más de 30 Proyectos de Investigación.

- **Flaviano García Alvarado**. Catedrático y Director del Grupo de Investigación CEU-ESYMAT. En 2006 estableció una línea de investigación dedicada a materiales para SOFC con varios artículos sobre perovskitas dobles profundizando en su estructura y la relación con las propiedades eléctricas y electroquímicas. Es uno de los promotores de la empresa de base tecnológica NeST (New Energy Storage Technology). Su actividad científica, se traduce en 167 publicaciones indexadas y 6 patentes. Desde 2001 es Coordinador de sucesivos proyectos coordinados del MCINN y Presidente del Grupo Especializado de Química del Estado Sólido de la Real Sociedad Española de Química desde 2016.

## 1.6 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

### 1.6.1 PRESUPUESTO DEL CONSORCIO

El **presupuesto global** del proyecto SOFC4GreenGrID asciende a **2.835.691 €**. El **presupuesto global** del proyecto SOFC4GreenGrID asciende a **2.835.691 €**.

Tabla 9. Presupuesto total por años

TOTAL PRESUPUESTO					
SOCIO	2022	2023	2024	2025	TOTAL
IDEA	58.359 €	607.610 €	323.104 €	0 €	<b>989.073 €</b>
REGENERA	21.993 €	398.671 €	364.258 €	0 €	<b>784.922 €</b>
VODIK	8.748 €	241.358 €	258.264 €	0 €	<b>508.370 €</b>
GGE	20.886 €	170.043 €	362.397 €	0 €	<b>553.326 €</b>
<b>TOTAL</b>	<b>109.986 €</b>	<b>1.417.682 €</b>	<b>1.308.023 €</b>	<b>0 €</b>	<b>2.835.691 €</b>

Además, el presupuesto también está compensado por actividades y socios (ver siguiente tabla). Considerando que las A1 y A2 se clasifican como Investigación y las A3, A4 y A5 como Desarrollo, la cifra destinada a Investigación asciende a 1.052.946 € (37,37% sobre el presupuesto total). La columna "Otros" se refiere al coste asociado a Auditoria.

Tabla 10. Presupuesto total por actividades y otros gastos (€)

TOTAL PRESUPUESTO €							
SOCIO	A1	A2	A3	A4	A5	OTROS	TOTAL
IDEA	76.433	195.551	514.140	99.656	98.793	4.500	<b>989.073</b>
REGENERA	376.611	381.941	6.676	8.748	6.446	4.500	<b>784.922</b>
VODIK	8.625	8.625	98.868	362.369	25.383	4.500	<b>508.370</b>
GGE	2.580	2.580	2.580	26.571	514.515	4.500	<b>553.326</b>
<b>TOTAL</b>	<b>464.249</b>	<b>588.697</b>	<b>622.264</b>	<b>497.344</b>	<b>645.137</b>	<b>18.000</b>	<b>2.835.691</b>

### 1.6.2 PRESUPUESTO IDEA

El presupuesto total estimado por **IDEA** es de **989.073 €**, repartidos entre todas las actividades, al tratarse de los líderes del proyecto. No obstante, su participación se centra principalmente en la actividad A3 de la cual son líderes con un 52% del presupuesto y en la A2 con un 20%.

#### 1.6.2.1 APARATOS Y EQUIPOS

El importe total imputado de esta partida asciende a 93.001 €, correspondiente a un equipo de testeo de pilas SOFC que se va a emplear en las actividades A3, A4 y A5. Su dedicación al presente proyecto iniciará en 2023 con un 70% en la A3 y un 15% en las A4 y A5. En 2024 se estima una dedicación del 100% del equipo repartido en las actividades A3, A4 y A5.

#### 1.6.2.2 RESPONSABLES TÉCNICOS PARTICIPANTES

IDEA ha conformado un equipo técnico multidisciplinar constituido por **9 investigadores** (6 hombres y 4 mujeres) **de diversos perfiles y gran experiencia, complementarios** entre sí con **titulados universitarios**. Los principales responsables técnicos participantes en el

proyecto serán: Teresa Serna, licenciada en Ciencias Químicas con más de 20 años participando en proyectos I+D; Rafael Pedro Manzano, Ingeniero Técnico Industrial que cuenta con una experiencia profesional de más de 22 años, tanto en fabricación, control de calidad, dirección y ejecución, gestión o responsable de calidad, entre otros; Antonio Rubio, director de Ingeniería con amplia experiencia en proyectos relacionados con hidrógeno.

El gasto de personal previsto por IDEA asciende a **526.373 €** (dedicación total de **17.507 horas**). Las horas se reparten en las siguientes Actividades:

- Actividad 1: 2.532 horas
- Actividad 2: 3.915 horas
- Actividad 3: 6.340 horas
- Actividad 4: 2.565 horas
- Actividad 5: 2.155 horas

### 1.6.2.3 MATERIALES

IDEA adquirirá “stacks” de 2 kW para desarrollar 2 sistemas de 50 kW (25 “stacks” de 2 kW por sistema) con un importe estimado de **175.000 €**. También requerirá materiales fungibles por un importe de **20.000 €** para el funcionamiento del prototipo tales como gases de medida (H<sub>2</sub>, Ar, aire sintético, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) y para la alimentación de gases.

### 1.6.2.4 COLABORACIÓN CON ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN

IDEA se apoyará en tres Organismos de Investigación, como son:

- **USP-CEU (85.000 €)**. Colaborará en la actividad A2, tarea T2.1 de optimización de métodos de preparación de materiales y evaluación de costes de escalado (71.000 €) y en la valoración de prestaciones y costes de “stacks” SOFC comerciales de 2 kW en la A3, T3.1 (14.000€).
- **INMA-CSIC (55.200 €)**. Colaborará en la actividad A2, y dentro de esta en la T2.3 para el desarrollo de una celda SOFC a escala de laboratorio con nuevos materiales como electrodos de aire (5.200 €) y en la T3.2 de ensamblado de “stacks” SOFC de potencia 10 kW y 50 kW con celdas comerciales (50.000 €).
- **CENER (30.000 €)**. Colaborará en la actividad A3, T3.2 aportando el equipamiento y conocimiento necesario para la caracterización de “stacks” de 2 kW (bancos de ensayo electroquímico), así como capacidades de diseño y modelizado de sistemas para el ensamblado de “stacks”.

Para más detalles se pueden consultar las memorias de exclusividad de proveedor, de justificación de subcontratación y demás documentos aportados.

### 1.6.3 PRESUPUESTO REGENERA

El presupuesto total de **REGENERA** asciende a **784.922 €**, participando en todas las actividades del proyecto, pero activamente en las actividades que lidera: A1 (48%) y A2 (49%).

#### 1.6.3.1 RESPONSABLES TÉCNICOS PARTICIPANTES

**REGENERA** aporta al proyecto un equipo técnico formado por **8 personas altamente cualificadas** (4 de nueva contratación) y con sobrada **experiencia en proyectos de I+D**. Estarán **liderados** por **Juana M. Pagan, Responsable Ingeniería**, con amplia experiencia en estudios y auditorías energéticas, estudio y optimización de tarifas eléctricas. También tiene experiencia con estudios energéticos, gestión energética y flexibilidad en plantas. Ha participado en el desarrollo de numerosos proyectos de innovación a nivel regional, nacional y europeo. **REGENERA** prevé una dedicación horaria de **22.400 horas** asociado a un gasto de **452.522 €**. Las horas se reparten en las siguientes actividades:

- Actividad 1: 12.150 horas
- Actividad 2: 9.250 horas
- Actividad 3: 300 horas
- Actividad 4: 400 horas
- Actividad 5: 300 horas

#### 1.6.3.2 MATERIALES

La partida de materiales asciende a **138.000 €**, distribuidos en la anualidad 2023 (86.000 €) y 2024 (52.000 €), correspondiente a los siguientes conceptos:

##### A1:

- T1.1: Materiales cerámicos en polvo (electrolito, electrodos); sustratos para el depósito de capas delgadas; disolventes para la preparación de tintas; componentes de las celdas

(interconectores, sellantes compresivos, conexiones...); crisoles, reactivos, pinturas metálicas, material de laboratorio (32.000 €).

- T1.2: Gases de medida (H<sub>2</sub>, Ar, aire sintético, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>); tubería (canalizaciones) (16.000 €)

#### A2:

- T2.1: Reactivos y crisoles de gran capacidad de alúmina, lámina de platino; material de laboratorio para síntesis a escala de kg (20.000 €).
- T2.2: Materiales cerámicos en polvo (electrodos), gases de síntesis, gases de medida, crisoles, reactivos, pinturas metálicas, material de laboratorio (24.000 €).
- T2.3: Materiales cerámicos en polvo (electrolito, electrodos); sustratos para el depósito de capas delgadas; disolventes para la preparación de tintas; crisoles, reactivos, pinturas metálicas, material de laboratorio (24.000 €).
- Material fungible común para la A1 y A2 para realizar el sistema de alimentación de gases especiales (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, etc.) al sistema de ensayos del laboratorio (22.000€).

### 1.6.3.3 COLABORACIÓN CON ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN

REGENERA se apoyará en tres Organismos de Investigación, como son:

- **UCM (A1: 25.000 €; A2: 110.000 €):** En la A1 colaborarán en la fabricación de celdas avanzadas de geometría planar y nuevos diseños de “stacks” SOFC de 2 kW, con materiales y microestructuras optimizadas (T1.1) y en la caracterización de celdas SOFC de geometría planar y “stacks” de 2 kW (T1.2). En la A2 participará en la T2.2 en el estudio de nuevos materiales como electrodos de aire de SOFCs y en la T2.3 en el diseño, ensamblado y caracterización de prestaciones de una celda SOFC a escala de laboratorio (1 Ac·m-2 a 650-700 °C y 0.5V) con nuevos materiales como electrodos de aire. Se puede consultar el detalle de las tareas a realizar en el contrato de prestación y en la memoria de exclusividad de proveedor aportada en la solicitud.
- **INMA-CSIC (14.900 €):** participará en la tarea T1.1. de fabricación de celdas avanzadas de geometría planar y nuevos diseños de “stacks” SOFC de 2 kW, con y microestructuras optimizadas y en la tarea T1.2. para la caracterización de celdas SOFC de geometría planar y “stacks” de 2 kW.
- **CENER (40.000 €):** para el desarrollo de las tareas de desarrollo de tintas cerámicas, fabricación de celdas por depósito de capas delgadas funcionales y la caracterización de celdas y “stacks” hasta potencias de 2 kW, en el marco de la actividad 1.

### 1.6.4 PRESUPUESTO VODIK

El presupuesto total de **VODIK** asciende a **508.370 €** participando en todas las actividades, aunque principalmente en la Actividad 4 que lidera, correspondiendo un 71 % (362.369 €) y un 19 % en la Actividad 3 (98.868 €).

#### 1.6.4.1 APARATOS Y EQUIPOS

El importe total estimado de esta partida asciende a **3.000 €** para la amortización de una **estación de trabajo para “modelling”**, que es necesaria para la actividad 4. Su dedicación a este proyecto será del 100% para la anualidad 2023 y 2024.

#### 1.6.4.2 RESPONSABLES TÉCNICOS PARTICIPANTES

VODIK ha constituido un **equipo técnico formado por 4 investigadores con elevada experiencia** en el ámbito de la actuación y contrastada capacidad, incluyendo 4 ingenieros. El equipo estará **liderado** por **Fernando Agudín**, Ingeniero Agroenergético y Máster en Energías Renovables.

El gasto de personal previsto asciende a **276.870 €** con una dedicación total de **13.407 horas**. Las horas se reparten de la siguiente manera por actividades:

- Actividad 1: 400 horas
- Actividad 2: 400 horas
- Actividad 3: 3.100 horas
- Actividad 4: 8.300 horas
- Actividad 5: 1.027 horas

#### 1.6.4.3 MATERIALES

El gasto en materiales previsto por VODIK asciende a **144.000 €**, y se asocia, por un lado, a los diferentes componentes necesarios para el prototipado y balance de planta de sistema SOFC de 50 kW (109.000 €) en la actividad A4:

- Licencia Software. Software modelado de fluidica del sistema SOFC 10 y 50 kW.
- Equipamiento para el balance de planta auxiliar a la celda: “housing”, racores, gases de medida, intercambiador de calor y compresor.

Por otro lado, para la actividad A3 será necesario adquirir equipos de medida adicionales tales como un potencióstato y booster.

#### 1.6.4.4 COLABORACIÓN CON ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN

VODIK subcontratará a **CENER** por valor de **80.000 €** para el desarrollo del modelo de sistema SOFC de 10 y 50 kW a partir de “stacks” comerciales en la A4.

#### 1.6.5 PRESUPUESTO GGE

El **presupuesto total** de **GGE** para el proyecto asciende a **553.426 €**. Participará en todas las actividades del proyecto, aunque principalmente en la actividad A5 que lidera correspondiendo un 93% (514.615 €).

##### 1.6.5.1 APARATOS Y EQUIPOS

El importe total imputado a esta partida asciende a **4.389 €** para la amortización de un **detector de hidrógeno, una herramienta de latón y una herramienta eléctrica ATEX**, que son necesarios para la integración del sistema SOFC en entornos reales. Su dedicación al proyecto será del 100%.

##### 1.6.5.2 RESPONSABLES TÉCNICOS PARTICIPANTES

GGE ha conformado un **equipo técnico multidisciplinar constituido por 10 investigadores de diversos perfiles y gran experiencia**, complementarios entre sí, con 7 titulados universitarios y 3 con niveles educativos calificados como otros. El **jefe del proyecto** será **Joaquín Mora**, Director de Proyectos con amplia experiencia en I+D de proyectos solares, eólicos, hidroeléctricos, de hidrógeno y de pilas de combustible que suelen tener un tamaño de 1MW.

El gasto de personal previsto por GGE asciende a **268.837 €** (dedicación total de **13.210 horas**). Las horas se reparten de la siguiente manera por actividades:

- Actividad 1: 120 horas
- Actividad 2: 120 horas
- Actividad 3: 120 horas
- Actividad 4: 1.293 horas
- Actividad 5: 11.557 horas

##### 1.6.5.3 MATERIALES

El importe de esta partida asciende a **66.000 €** y se asocia a diferentes componentes necesarios para adecuar los diferentes sistemas y elementos con la infraestructura existente en la Actividad A5:

- **Componentes eléctricos** (22.000 €): para la adecuación del sistema a la infraestructura existente.
- **Componentes mecánicos** (22.000 €): para la adaptación de la potencia eléctrica acorde con la infraestructura existente.
- **Componentes electrónicos** (22.000 €): para integrar el control del prototipo con la infraestructura existente.

##### 1.6.5.4 COLABORACIÓN CON ORGANISMOS DE INVESTIGACIÓN

GGE se apoyará en **dos OIs**, por un importe total de **150.000 €**, como son:

- **CENER** (100.000 €). Participará en la T5.1 para la integración del sistema SOFC de hasta 50 kW en microrred ATENEA – CENER. Se puede consultar el detalle de las tareas a realizar en el contrato de prestación y en la memoria de exclusividad de proveedor aportada en la solicitud.
- **INMA-CSIC** (50.000 €). Participará en la T5.2 para una correcta integración del sistema sistema SOFC de hasta 50 kW en entorno real de GGE. Se puede consultar el detalle de las tareas a realizar en el contrato de prestación y en la memoria de exclusividad de proveedor aportada en la solicitud.

##### 1.6.5.5 COLABORACIÓN CON OTRAS ENTIDADES

GGE se apoyará en otras entidades, por un importe de **59.600 €** para llevar a cabo las siguientes tareas dentro de la A5:

- Canalización de los conductos hasta la infraestructura existente (14.900 €).
- Adaptación electrónica del prototipo a los equipos actuales (14.900 €).
- Sistemas mecánico (14.900 €): adaptación mecánica del prototipo a los equipos actuales.
- Adaptación potencia prototipo a los equipos actuales (14.900 €).

### **1.7 ESTRATEGIA DE GENERACIÓN Y PLAN DE GESTIÓN DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL E INDUSTRIAL**

**La estrategia de generación y plan de gestión de la propiedad intelectual e industrial que se genere como consecuencia de la ejecución y desarrollo del proyecto SOFC4GreenGrID corresponderá al socio/s participante/s que lo haya/n generado, quedando definido en el Acuerdo de Consorcio del presente proyecto.**

El acuerdo de consorcio, firmado por todos los socios del proyecto, describe el plan de gestión de la propiedad intelectual e industrial de los resultados derivados del proyecto, los derechos de propiedad intelectual e industrial, los métodos de trabajo y el “know-how” pertenecientes a cualquiera de las empresas antes del comienzo del proyecto, así como aquellos que siendo propiedad de terceros se transfieran a alguna de las empresas, continuarán siendo propiedad de los titulares y no podrán ser utilizados por las otras empresas fuera del ámbito del proyecto. De manera específica, en caso de identificar resultados con potencial explotación por parte del consorcio, se llevará a cabo un estudio de patentabilidad de dichos resultados de manera específica.

**Explotación de los resultados:** cada socio participante podrá explotar o encargar que se exploten sus resultados propios (es decir, aquellos que no son resultados parciales o en copropiedad) y los derechos adquiridos de conformidad con lo establecido. La decisión de esta explotación será comunicada por el socio interesado al resto de socios participantes. En el caso de que un socio participante esté interesado en la explotación de los resultados que sean propiedad completa o parcial de otro socio participante, ambos acordarán la correspondiente licencia en contrato de transferencia, previo al inicio de la explotación y dentro de los doce meses siguientes a la finalización del proyecto. En principio, desde IDEA como coordinador del proyecto, existe predisposición a patentar los nuevos desarrollos que pudieran resultar para la empresa. Como prueba de ello, han solicitado recientemente una patente de un proyecto previamente realizado (ver Memoria de Empresa IDEA). Finalmente, los centros tecnológicos ofertan contratos de investigación con PI e I que proteger.

### **1.8 FUTURAS ACTUACIONES DE I+D COMO CONSECUENCIA DEL PROYECTO**

En la sección 2.3 se detalla la participación de las empresas que forman el consorcio en programas de I+D relacionados con el proyecto. Con estos antecedentes de cada uno de los socios, se espera que el presente proyecto suponga un impulso importante para la participación de los miembros del consorcio, potencialmente con los centros tecnológicos y de investigación de las subcontrataciones también, en programas I+D internacionales y de cooperación tecnológica como consecuencia del presente proyecto. El proyecto **SOFC4GreenGrID está alineado perfectamente con las prioridades establecidas por la Unión Europea**,<sup>22</sup> y especialmente con dos de las seis prioridades de la Comisión para 2019-2024: (i) el **Pacto Verde Europeo** (tal como se ha argumentado en la sección 1.1.6), para convertirse en el primer continente climáticamente neutro y, (ii) una **Europa Adaptada a la era Digital** para capacitar a las personas con una nueva generación de tecnologías, en este sentido, **la estrategia digital de la UE utilizará la tecnología para ayudar a Europa a ser climáticamente neutra de aquí a 2050.**

Alineado con estas prioridades, se han encontrado fuertes sinergias con el programa marco de investigación de la Unión Europea **Horizonte Europa**, y más concretamente, el proyecto SOFC4GreenGrID se alinea con el **pilar 2 de Desafíos Globales y Competitividad Industrial Europea** para reforzar las capacidades tecnológicas industriales y superar los grandes desafíos globales. Dentro de este programa marco, el desarrollo de pilas de

<sup>22</sup> [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024\\_es](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024_es)

combustible de hidrógeno, es objeto de varias convocatorias/ “topics” actualmente abiertos, entre las que destacan las siguientes:

Tabla 11. Programa Horizonte Europa – Topics abiertos relacionados con SOFC4GreenGrid

TOPIC	TITULO	TIPO <sup>23</sup>
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-01-08	Integration of multi-MW electrolyzers in industrial applications	IA
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-01-04	Design for advanced and scalable manufacturing of electrolyzers	RIA
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-06-02	Hydrogen Valleys (small-scale)	IA
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-06-01	Hydrogen Valleys (large-scale)	IA
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-01-10	Demonstrating offshore production of green hydrogen	IA
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-01-05	Scaling up of cells and stacks for large electrolyzers	RIA
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-02-11	Development and demonstration of mobile and stationary compressed hydrogen refuelling solutions for application in inland shipping and short-distance maritime operations	IA
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-05-01	Public understanding of hydrogen and fuel cell technologies	CSA
HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-04-01	Design and industrial deployment of innovative manufacturing processes for fuel cells and fuel cell components	IA

En el momento de la preparación de esta memoria hay un total de 9 “topics” abiertos que financiarán una gran variedad de proyectos europeos relacionados con el proyecto SOFC4GreenGrid para el desarrollo de pilas de combustible de hidrógeno, sobre todo el último “topic” de la tabla anterior. El presupuesto global de la 2ª convocatoria HORIZON-JTI-CLEANH2-2022 para el presente año asciende a 121 M €, lo que denota la fuerte apuesta a nivel internacional por este tipo de soluciones y tecnologías clave para la industria europea. La mayoría de los proyectos que se financien en esta convocatoria continuarán en ejecución durante los próximos 3 años y con ellos se buscará crear sinergias para nuevas oportunidades de colaboración internacional del consorcio. Además, el programa marco europeo se encuentra definido para el período 2021-2027, por lo que se espera que existan oportunidades de participación relacionadas con los resultados directos del proyecto al alcanzar un TRL de 6 en 2024. Por ello, se espera poder establecer entonces un marco colaborativo en continua expansión que dará lugar a futuros desarrollos hasta alcanzar TRLs más cercanos a mercado. En resumen, en el caso de VODIK, GGE se espera que la participación en el presente proyecto suponga el impulso definitivo que los lleve a consolidar su participación en nuevos programas internacionales. En el caso de IDEA y REGENERA, se espera que este proyecto permita afianzar la participación en programas internacionales y, posiblemente, participar en redes de investigación más extensas y plataformas de ámbito europeo. En la sección 3.2 se analiza en detalle los planes de continuidad de los desarrollos del proyecto.

<sup>23</sup> IA: Innovation Action; RIA: Research and Innovation Action; CSA: Coordination and Support Action.

## 2. CAPACIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL CONSORCIO

### 2.1 ADECUACIÓN DEL PROYECTO A LAS ACTIVIDADES Y ESTRATEGIA DEL CONSORCIO. DESCRIPCIÓN DEL GENERAL DEL CONSORCIO

El consorcio del proyecto SOFC4GreenGrID consiste en un **equipo multidisciplinar** formado por **4 entidades**, 1 mediana empresa y 3 pequeñas empresas, vinculadas con distintos sectores estratégicos que trabajan en conjunto con un fin común, aunar esfuerzos y conocimientos para lograr alcanzar el objetivo del proyecto que no es otro que investigar y desarrollar tecnologías avanzadas para la producción de sistemas de conversión de hidrógeno verde en electricidad mediante pilas de combustible de óxido sólido de potencias de hasta 50 kW.

Tabla 12. Empresas participantes en el consorcio

Denominación	Acrónimo	Logo	Ubicación	Colabora con
INGENIERIA Y DISEÑO ESTRUCTURAL AVANZADO, S.L.	IDEA		Cartagena Castellón Alicante Valencia Madrid	USP-CEU INMA-CSIC CENER
REGENERA LEVANTE, S.L.	REGENERA		Murcia	UCM INMA-CSIC CENER
VODIK GREEN ENERGY S.L.	VODIK		Cartagena	CENER
GREEN GROUPING ENERGIA S.L.	GGE		Barbastro Huesca La Puebla de Alfindén Almenar Las Palmas	INMA-CSIC CENER

A continuación, se define en qué medida el proyecto SOFC4GreenGrID responde al desarrollo estratégico de cada una de las empresas participantes en el consorcio.

Tabla 13. Adecuación del proyecto a las actividades y estrategia del consorcio

IDEA
<p><b>IDEA</b>, fundada en 2008, es una empresa especializada en la utilización de la tecnología BIM (Building Information Modeling) en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción en proyectos industriales realizados por los cinco continentes y se proyecta desde sus inicios como una empresa multidisciplinar que trabaja con las herramientas de diseño, análisis y simulación más avanzadas, ofreciendo a sus clientes las ventajas que aportan la visualización de modelos antes de su fabricación.</p> <p>En la actualidad se consolida como uno de los referentes nacionales en integración de nuevas tecnologías, donde la innovación y el desarrollo han sido los pilares fundamentales sobre los que se asienta su crecimiento y que han servido como ventaja competitiva frente al resto. Las nuevas líneas de negocio de IDEA, como la línea de ingeniería y construcción sostenible #IDEAGreen (<a href="https://ideagreen.es/">https://ideagreen.es/</a>) y la <u>consolidación en el mercado de Hidrógeno Verde</u> gracias a la participación de IDEA en los dos proyectos más relevantes de España (sección 2.3), la posicionan como el coordinador más apropiado para este proyecto.</p> <p>En este contexto, el desarrollo del proyecto SOFC4GreenGrID <u>contribuye a la estrategia de la empresa en cuanto a consolidar la nueva línea estratégica IDEAGREEN, que tiene como filosofía corporativa la descarbonización del planeta, por lo que colabora en proyectos donde el vector energético del Hidrogeno Verde se usa como materia prima o combustible. En esta línea se ofrecen los servicios de ingeniería y consultoría, en todo el ciclo de vida del H2 verde, tanto como materia prima para el uso industrial como combustible para el</u></p>

transporte: desde la generación de la energía eléctrica renovable, diseño de las líneas de distribución eléctrica y las subestaciones asociadas para el transporte de la energía, ingeniería integradora con el tecnólogo del electrolizador para la definición de la planta de hidrogeno, asesoramiento y definición del sistema de almacenamiento y manipulación del H<sub>2</sub>, para finalmente hacer la integración para su uso final.

Concretamente, IDEA investigará en el proyecto sobre el ensamblado de sistema SOFC de 50kW, que comprende un estudio de mercado de “stacks” SOFC comerciales de 2 kW, el análisis y el ensamblado de “stacks” hasta sistemas de potencia de 10 kW y 50 kW con celdas comerciales y, finalmente la caracterización de los stacks SOFC.

#### REGENERA

**REGENERA** es una ESE (Empresa de Servicios Energéticos) fundada en 2007 que proporciona soluciones integrales para aumentar la eficiencia energética, aprovechar los recursos naturales, reducir el impacto en el medio ambiente y aumentar la competitividad de los clientes.

**REGENERA**, en su continua apuesta por la innovación y la excelencia, ha desarrollado un Plan Estratégico para el período 2020-2023; una estrategia que integra todas las innovaciones aprendidas en los diferentes campos en los que ha trabajado la empresa y que son clave para el desarrollo de la Unión Europea, como las Smart Grids, Smart Cities, eficiencia energética, economía circular y el hidrógeno verde. Esto permitirá incrementar la competitividad de la empresa tanto a nivel regional y nacional como europeo, ya que todas las innovaciones en las que ha trabajado y trabaja durante estos años están relacionados con los futuros avances tecnológicos en el campo de la energía.

En este sentido, el presente proyecto responde al desarrollo estratégico de una de las principales áreas de interés de la empresa: el hidrógeno verde. Para ser más específicos, la actual línea de investigación de REGENERA en Hidrógeno Verde va dirigida a la implantación de éste como vector energético en industria, logística, movilidad y flexibilidad energética. Con este proyecto se pretende investigar en soluciones innovadoras basadas en stacks con nuevos materiales para pilas de hidrógeno. Además, REGENERA dispone de una línea de negocio dentro del Departamento de Ingeniería basada en soluciones en economía circular y sostenibilidad. El presente proyecto permitirá a REGENERA diversificar en el ámbito de nuevos materiales innovadores para nuevos diseños y fabricación de celdas SOFC de geometría planar.

#### VODIK

**VODIK** es una empresa surgida de la convergencia de REGENERA e IDEA, orientada hacia el mercado del hidrógeno desde el punto de vista de su potencial energético. Su misión consiste en la promoción e implantación del uso de hidrógeno verde, desde la generación hasta la demanda, en modelos de negocio nuevos y existentes, con especial foco en la industria. **VODIK** ofrece una solución energética integral y personalizada al cliente con integración del H<sub>2</sub> como vector energético, para ello:

Desarrolla soluciones personalizadas para la optimización de las necesidades energéticas de cada cliente.

Promociona y desarrolla proyectos de generación renovable e hidrógeno verde como vector energético.

Proyecta, diseña y construye nuevas plantas fotovoltaicas como base de generación de hidrógeno verde.

Implanta la hibridación de procesos y la flexibilidad energética para alcanzar la optimización energética del cliente.

Busca la integración energética basándose en el ahorro de emisiones y el uso de fuentes de energía verdes en línea con la transición energética marcada por Europa.

La estrategia de VODIK es llegar a ser una empresa referente en el sector del hidrógeno como energía verde del futuro.

Por lo tanto, el presente proyecto está alineado completamente con la estrategia de la empresa, puesto que en el marco de SOFC4GreenGrid, VODIK investigará y desarrollará el balance de planta necesario para la integración de apilamientos (‘stacks’) SOFC en el

dispositivo final responsable de la generación eléctrica, es decir, en la pila de combustible SOFC de 10 y 50 kW de potencia.

### GGE

**GREEN GROUPING** nació con el objetivo de poner en valor las energías renovables y las tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible. Es una empresa centrada en la industria e innovación teniendo como pilares la energía y el medio ambiente. La misión de la empresa es diseñar, crear y operar soluciones energéticas basadas en energías respetuosas con el medio ambiente tanto para particulares como para empresas. Como objetivo, la visión de la empresa es convertirse en la empresa líder en energías renovables en su zona de influencia, ser conocidos y reconocidos a nivel nacional y llevar a cabo grandes proyectos tanto nacionales como internacionales. Todo ello bajo el objetivo principal de normalizar el consumo de una energía económica, limpia y fiable.

**GREEN GROUPING** definió un mapa de ruta para el futuro de la empresa, basado en la economía del hidrogeno, en el que se incluye el hidrógeno y las pilas de combustible, en las etapas 2 y 3, respectivamente.

En esta línea, dentro del marco del proyecto SOFC4GreenGrid, GREEN GROUPING llevará a cabo la integración de sistema SOFC de hasta 50 kW en la microrred ATENEA – CENER para su acoplamiento con fuentes de energía renovable y otros sistemas de almacenamiento energético (incluidos electrolizadores), y finalmente, la integración de sistema SOFC de hasta 50 kW en las Bodegas Viñas del Vero, en donde ya existe una infraestructura de hidrógeno.

## 2.2 EQUILIBRIO Y COMPLEMENTARIEDAD DEL CONSORCIO

El proyecto SOFC4GreenGrid se basa en cinco ejes principales de investigación: (1) investigación en celdas y “stacks” SOFC de geometría planar con métodos de fabricación novedosos (**REGENERA**); (2) investigación en celdas SOFC de geometría planar con materiales innovadores (**REGENERA**); (3) ensamblado de sistema SOFC de 50kW (**IDEA**); (4) prototipado y balance de planta de sistema SOFC de 50kW (**VODIK**); y (5) Integración del sistema SOFC en entornos reales (**GGE**).

El consorcio está compuesto por **4 empresas** con elevada capacidad tecnológica y punteros en su sector, que participarán de manera sinérgica en cada una de las líneas de trabajo, colaborando entre ellos para la investigación y desarrollo de tecnologías avanzadas para la producción de sistemas de conversión de hidrógeno verde en electricidad mediante pilas de combustible de óxido sólido de potencias de hasta 50 kW. **IDEA** liderará el proyecto dada su amplia **experiencia en dos de los proyectos más relevantes de España en materia de hidrogeno** (sección 2.3), siendo una pieza clave que servirá de enlace entre las otras 3 pequeñas empresas. En dichos proyectos previos relacionados con SOFC4GreenGrid, IDEA ha desarrollado actividades de ingeniería básica y de detalle en la mayor planta de Europa de producción de hidrógeno verde mediante electrolisis polimérica para Iberdrola y ha participado en el desarrollo y aplicación de una pila de hidrógeno como combustible sostenible, obtenido a partir de fuentes renovables fotovoltaicas ya existentes, financiado por el Programa RIS3Mur. En la Figura 11 se ha resumido la interacción de los socios dentro del proyecto.

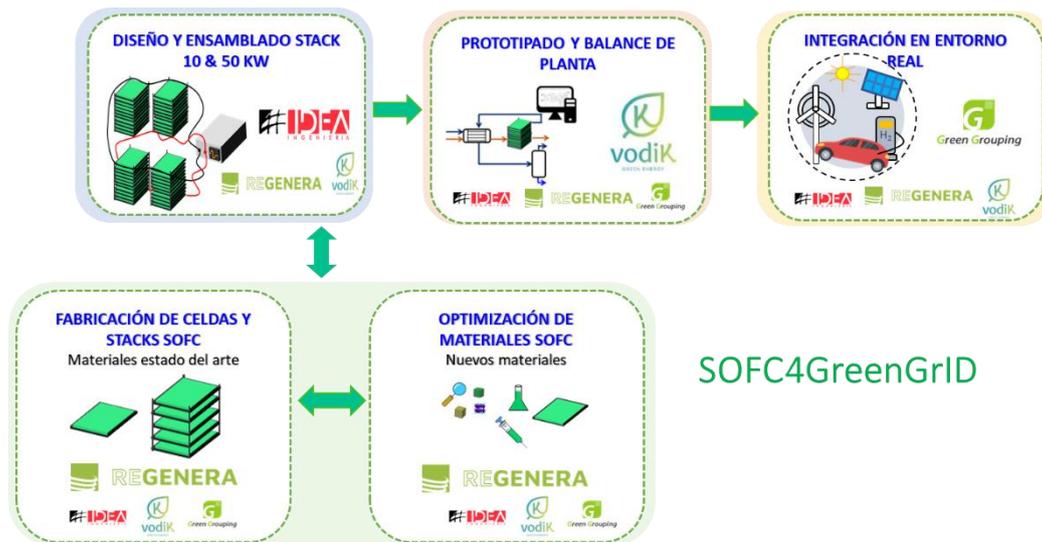


Figura 11. Interacción del consorcio en el proyecto

Con el objetivo de fomentar un mecanismo estable de cooperación entre las empresas y los organismos de investigación, y con el objetivo de reforzar las tareas de investigación, cada uno de los miembros del consorcio contará, además, con la participación de diferentes Centros Tecnológicos y Universidades.

Tabla 14. Organismos de investigación y su participación en el proyecto

Organismo Investigación	Participación en el proyecto	Tipo
Centro Nacional De Energías Renovables 	I+D en fabricación, ensamblado e integración de sistemas SOFC	Centros Tecnológicos y Centros de Apoyo a la innovación tecnológica
Universidad Complutense Madrid 	I+D en nuevos materiales, caracterización microestructural y electroquímica. Ensamblado y caracterización de celdas planas.	Universidad
Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón-CSIC 	I+D en fabricación de celdas y stacks SOFC. Caracterización electroquímica de sistemas SOFC.	Organismo Público de investigación
Universidad CEU San Pablo 	I+D en nuevos materiales, síntesis, caracterización estructural. Escalado de síntesis. Estado de stacks comerciales y sus prestaciones.	Universidad

Por tanto, el consorcio del proyecto SOFC4GreenGrid se ha definido en base al alto grado de "expertise" que poseen todas las empresas, siendo todas ellas referentes en su sector específico. Las empresas y organismos de investigación que participan en el proyecto se encuentran en la Región de Murcia, Huesca, Madrid, Navarra y Zaragoza tal y como se puede ver en la Figura 12.



Figura 12. Distribución geográfica del consorcio

Los puntos fuertes más significativos del consorcio SOFC4GreenGrid son los siguientes:

- **Máxima implicación de las empresas en el proyecto.** Los socios del consorcio han trabajado de forma individual y en equipo para definir y organizar el proyecto, y para determinar las pautas de trabajo y acordar el alcance de los objetivos. El proyecto potencia líneas de trabajo que las empresas ven clave para el futuro de sus correspondientes sectores, con el fin de poderse alinear con las tendencias y acceder a nuevas oportunidades de mercado.
- **Complementariedad de las actividades.** La complementariedad dentro de los cinco ejes de investigación planteados en el proyecto SOFC4GreenGrid hace que desde el principio se haya orientado el proyecto con una visión holística centrada en el aprovechamiento del hidrógeno renovable, y crear cadenas de valor innovadoras, centrándose en la etapa de aplicaciones, mediante el desarrollo de pilas de combustible de óxido sólido SOFC con nuevos materiales y su integración en microrredes. La distribución de las actividades científico-técnicas asegura la máxima sinergia entre las tareas realizadas por los distintos miembros del consorcio.
- **Experiencia previa en proyectos, tanto individuales como colaborativos.** Las empresas del consorcio cuentan con amplia experiencia de participación en proyectos con el objetivo de ampliar sus líneas de actividad en I+D, establecer las bases para futuros proyectos de desarrollo, afianzar su imagen de empresa en los mercados donde se opera habitualmente y disponer de una carta de presentación. En la sección 2.3 se presentan los principales proyectos y experiencias anteriores de cada una de las empresas.

Finalmente, con el objetivo de asegurar el buen funcionamiento del proyecto y del consorcio y, en particular, de las distintas actividades que lo componen, tanto en sus aspectos científico-técnicos como financieros y de coordinación entre ellos, existirá una estructura de gestión y administración del proyecto que permita la ejecución técnica y económica de acuerdo con la propuesta aprobada y los objetivos establecidos además de ejercer un seguimiento y control efectivos de la documentación para las justificaciones técnicas y económicas así como realizar un seguimiento efectivo de riesgos que puedan surgir a lo largo de la ejecución del proyecto. La estructura de gestión y administración del proyecto estará constituida por un comité ejecutivo estará presidido por el coordinador de proyecto (IDEA) y compuesto por un miembro con derecho a voto por cada uno de los socios. Además, un comité técnico, presidido por el coordinador y sus miembros serán los líderes de actividad. El comité ejecutivo se reunirá con carácter ordinario un mínimo de dos veces al año, y el comité técnico se reunirá con carácter ordinario cuatro veces al año. Información detallada sobre el funcionamiento, la composición, las reuniones y las reglas de voto de cada uno de los órganos de gobierno que conforman el

consorcio, así como el análisis de contingencias y la descripción de alternativas se encuentran ampliamente descritas en el acuerdo de consorcio.

## 2.3 EXPERIENCIAS PREVIAS EN COOPERACIÓN TECNOLÓGICA

Los miembros del consorcio SOFC4GreenGrid cuentan con amplia experiencia dentro de sus sectores de actividad, algunos de ellos contando también con **experiencia previa en cooperación tecnológica**.

### 2.3.1 IDEA

IDEA, como coordinador de este proyecto, posee una dilatada experiencia realizando proyectos de cooperación tecnológica relevantes para el proyecto y en particular, ha colaborado en numerosas ocasiones con algunos participantes del consorcio SOFC4GreenGrid. Las 5 experiencias previas más relevantes y recientes de IDEA relacionadas con el presente proyecto son:

- Inyección de hidrógeno planta regasificación (2018). Proyecto en consorcio con la Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón (FHa) e Hidrógena para Enagás en Cartagena. Se trata de un proyecto piloto de inyección de hidrógeno en la red local de gas. IDEA se encargó del desarrollo del proyecto de construcción. Fue la primera experiencia de inyección real de hidrógeno en una planta de regasificación en España y en Europa, con el apoyo además de un sistema de almacenamiento eléctrico a pequeña escala.
- HydroGreen (2020). Proyecto financiado por el Programa PROYECTOS ESTRATÉGICOS RIS3MUR 2020. El consorcio estaba formado por la Universidad Politécnica de Cartagena, CETENMA, IDEA, Grupo Caliche y REGENERA como coordinador del proyecto. Su objetivo era el desarrollo y aplicación de una pila de hidrógeno como combustible sostenible, obtenido a partir de fuentes renovables fotovoltaicas, y su validación y demostración en entornos industriales reales, consiguiendo un aumento de la eficacia y una reducción de costes y emisiones, aumentando así la competitividad de las empresas del sector transporte y logística en la región.
- Hidrógeno Verde (2021-2022). Proyecto de ingeniería para el desarrollo de la mayor planta de hidrógeno verde en Europa para Iberdrola en Puertollano (Ciudad Real). IDEA se centra en actividades de ingeniería básica y de detalle para los sistemas de descargas de válvulas de seguridad y antorcha para corrientes de H<sub>2</sub> y recepción, compresión y envío de O<sub>2</sub>. La planta alcanza una producción de hidrógeno (720 tH<sub>2</sub>/año) y de oxígeno (5.800 tO<sub>2</sub>/año) de alta pureza mediante electrolisis polimérica, basada en tecnología de membrana de intercambio de protones (PEM) de 20 MW de NEL. El hidrógeno verde producido se usará en la fábrica de amoníaco de Fertiberia, permitiendo la fabricación de fertilizantes sin usar combustibles fósiles ni emitir dióxido de carbono.
- VPP4Islands (2020-2023). Proyecto financiado bajo el programa europeo de investigación H2020, en consorcio con entidades de prestigio y cuyo objetivo es el desarrollo de centrales eléctricas virtuales para islas inteligentes. El consorcio está formado por 1 gran empresa, 1 compañía de distribución eléctrica, 7 PYMES, entre ellas IDEA y REGENERA, 3 universidades, 2 organismos de investigación, 3 municipios de islas y 2 organizaciones sin ánimo de lucro. VPP4Islands tiene como objetivo facilitar la integración de sistemas renovables, acelerar la transición hacia la energía inteligente y ayudar a las islas a explotar el potencial de eficiencia energética y enfoques de almacenamiento innovadores, fomentando la participación de los ciudadanos, con la finalidad de convertirse en autosuficiente energéticamente.
- REINCE (2021-2023). Proyecto financiado a través del Programa PROYECTOS ESTRATÉGICOS RIS3MUR. IDEA junto a la Universidad Politécnica de Cartagena, el Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia, las empresas Cementos La Cruz, Construcciones Urdecon y Materiales Reciclados está desarrollando un proyecto para fabricar hormigones sin cemento que reduzcan las emisiones de gases efecto invernadero. Proyecto cuyo objetivo es desarrollar geopolímeros de huella de carbono casi

nula a partir de diferentes materiales, con el fin de reemplazar el cemento portland convencional mucho más contaminante en la elaboración de hormigón.

### **2.3.2 REGENERA**

REGENERA cuenta con una amplia experiencia en cooperación tecnológica en diversos proyectos, sobre todo a nivel europeo; los 5 más relevantes se detallan a continuación:

HydroGreen (2020). Proyecto financiado por el Programa PROYECTOS ESTRATÉGICOS RIS3MUR 2020. El consorcio estaba formado por la Universidad Politécnica de Cartagena, CETENMA, IDEA, Grupo Caliche y REGENERA como coordinador del proyecto. Su objetivo era el desarrollo y aplicación de una pila de hidrógeno como combustible sostenible, obtenido a partir de fuentes renovables fotovoltaicas, y su validación y demostración en entornos industriales reales, consiguiendo un aumento de la eficacia y una reducción de costes y emisiones, aumentando así la competitividad de las empresas del sector transporte y logística en la región.

MAGNITUDE (2017-2021). Proyecto financiado bajo el programa europeo de investigación H2020, que tenía como objetivo diseñar y desarrollar mecanismos de empresa y mercado para las herramientas de coordinación que faciliten una mayor flexibilidad para el sistema eléctrico europeo, incrementando las sinergias entre los sistemas eléctricos, así como los de calefacción y gas. El consorcio estaba formado por 16 socios de 9 países europeos diferentes.

VPP4Islands (2020-2023). Proyecto financiado bajo el programa europeo de investigación H2020, en consorcio con entidades de prestigio y cuyo objetivo es el desarrollo de centrales eléctricas virtuales para islas inteligentes. El consorcio está formado por 1 gran empresa, 1 compañía de distribución eléctrica, 7 PYMES, entre ellas IDEA y REGENERA, 3 universidades, 2 organismos de investigación, 3 municipios de islas y 2 organizaciones sin ánimo de lucro. VPP4Islands tiene como objetivo facilitar la integración de sistemas renovables, acelerar la transición hacia la energía inteligente y ayudar a las islas a explotar el potencial de eficiencia energética y enfoques de almacenamiento innovadores, fomentando la participación de los ciudadanos, con la finalidad de convertirse en autosuficiente energéticamente.

RINNO (2020-2024). Proyecto europeo H2020, que tiene como objeto desarrollar y validar una interfaz operativa con inteligencia aumentada con el objetivo de mejorar el ciclo de vida de la renovación de edificios basado en los conceptos de sostenibilidad económica y medioambiental. El consorcio está formado por un conjunto cuidadosamente elegido de 18 socios: 9 industriales, 5 académicos y de investigación y 4 usuarios finales del proyecto.

LIFE Desirows (2020-2024). Proyecto financiado bajo el programa europeo LIFE, que tiene como objeto eliminar la salmuera del agua mediante procesos de desalinización, alcanzando la cristalización de sales y mejorando la calidad del agua recuperada para el sector agrícola a un precio asequible. El consorcio liderado por la empresa Regenera y en el que participan la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), la Comunidad de Regantes de Arco Sur y otras empresas de la Región de Murcia con experiencia en este tipo de proyectos como es el caso de Hidrogea e Hidrotec.

### **2.3.3 VODIK**

VODIK, dada su reciente creación en 2021, aún no posee experiencias en cooperación tecnológica. Sin embargo, como es una empresa surgida de la convergencia de REGENERA e IDEA, cuenta con profesionales con más de 25 años de experiencia en el sector energético y la ingeniería de detalle, orientada hacia el mercado del hidrógeno, desde el punto de vista de su potencial energético.

### **2.3.4 GREEN GROUPING**

GGE ha participado en varios proyectos en cooperación tecnológica regionales, nacionales e internacionales, entre los que destacan por su relevancia y relación con el presente proyecto, los siguientes:

- SISTEMAS SOFC MICROTUBULARES ALIMENTADOS CON GAS LICUADO DE PETRÓLEO PARA APLICACIONES PORTÁTILES (2022-2025). Proyecto financiado bajo el Programa internacional EUROGIA 2021 (EUREKA). El objetivo del proyecto es el diseño y desarrollo de un sistema portátil de energía con una disminución futura del costo de la energía mediante el aumento de la eficiencia de conversión y las bajas emisiones de carbono, concretamente una pila de combustible con tecnología de óxidos sólidos (SOFC) con tipología microtubular (mT) de baja potencia, que en su conjunto será alimentada con gas licuado de petróleo (GLP). Proyecto coordinado por VESTEL (Turquía) y con la colaboración del Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA-CSIC) como organismo de investigación.
- AGROVOLTAICA EN EL ALTOARAGÓN: ENSAYO EN PLANTAS AROMÁTICAS Y HORTÍCOLAS. Proyecto financiado bajo el Programa de Desarrollo Rural para Aragón 2014-2020. El presente proyecto tiene como finalidad la puesta en marcha de un campo de experimentación e investigación sobre la combinación de producción de energía solar y agraria, la agrovoltaica. El terreno en el que se realizará este proyecto se sitúa en el término municipal de Huesca. El grupo de cooperación está formado por Pirinea Desarrollo Rural S.L., Green Grouping Energía, Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos, Universidad de Zaragoza, Escuela Politécnica Superior y Centro De Investigación Y Tecnología Agroalimentaria De Aragón.
- Proyecto de cooperación Plug & Play POWERPACK (2019). Proyecto financiado por la Estrategia de Desarrollo Local FEADER del Gobierno de Aragón, en consorcio con otra PYME. Tiene como objetivo el desarrollo de un producto que suministra energía solar, que no precisa de un servicio técnico de instalación para su montaje y puesta en funcionamiento, es "auto- instalable". Para el suministro eléctrico en casas de campo, en granjas, en huertas y otras aplicaciones que no disponen de conexión a la red eléctrica.

Adicionalmente, GGE es el punto de encuentro común del **Green Cluster Alliance**, el cual está integrado por personas y organizaciones referentes en sus respectivos sectores: energía, construcción, medio ambiente y telecomunicaciones centradas en el desarrollo de proyectos a nivel nacional e internacional tanto dentro como fuera de Europa.



Figura 13. Integrantes del Green Cluster Alliance

## 2.4 CAPACIDADES DEL CONSORCIO PARA ASEGURAR EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Las empresas que constituyen el presente consorcio son responsables, tanto de manera individual como de forma conjunta con el resto de los participantes, de las obligaciones derivadas del desarrollo del proyecto y de su relación con el CDTI. Todas las empresas del consorcio poseen personal altamente cualificado y medios materiales e inmateriales adecuados para asegurar el desarrollo del proyecto. En resumen, cuentan con:

- Personal altamente cualificado.
- Medios tecnológicos adecuados
- En el caso de REGENERA y GGE, departamentos de I+D diferenciados
- Estructura comercial consolidada

En la Tabla 15 se detallan las **capacidades tecnológicas, comerciales y productivas** de cada una de las empresas que forman el consorcio y que asegurarán el desarrollo del proyecto SOFC4GreenGrid.

Tabla 15. Capacidades del consorcio

SOCIO	Capacidades tecnológicas, comerciales y productivas
IDEA	<p><u>Capacidad tecnológica y productiva</u>: cuenta con más de 200 personas altamente cualificadas, repartidos en diferentes departamentos, entre otros, ingeniería de proyectos, redes, arquitectura, EPC, reclutamiento &amp; outsourcing y transformación Digital 4.0. Asimismo, dispone en sus instalaciones de las tecnologías más novedosas para la ejecución de todos los proyectos en los que participa. Para ello cuenta con numerosos softwares en el departamento de <u>ingeniería de Proyectos</u> para áreas de cálculo (Robot Structural Analysis Professional, STAAD.Pro, SAP2000, Cype...), modelado 3D (AUTODESK, SOLIDWORKS...), electricidad (ePLAN, ABB...), piping (caesar, AutoPIPE...), delineación (AUTOCAD, MicroStation), instrumentación (SmartPlant, INtools) y protección contra incendios (SAFIR). El departamento de <u>transformación digital</u> cuenta con software para fabricación aditiva 3D (SIMPLIFY3D), nube de puntos (EDGEWISE, FARO, SCENE), Smart BIM (InsightBIM, Dynamo...), etc. Además, para sus desarrollos, la empresa realiza una importante inversión de capital en la adquisición de tecnologías para el tratamiento y transmisión de grandes volúmenes de datos (Big Data e IoT) así como su procesamiento inteligente gracias a tecnologías BI. IDEA cuenta con sedes físicas a nivel nacional situadas en Cartagena (sede central), Madrid, Alicante, Valencia y Castellón. En ellas desarrolla su actividad de desarrollo, comercial y de soporte. Adicionalmente, pertenece a varias plataformas tecnológicas y asociaciones, entre las que destacan: <u>AHMUR</u>, la Asociación Sectorial del Hidrógeno verde en la Región de Murcia, que es una asociación privada sin ánimo de lucro para promover la transición de la Región hacia una economía descarbonizada gracias a las energías renovables y al hidrógeno verde; y <u>CETENMA</u>, asociación empresarial privada sin ánimo de lucro, creada para servir de apoyo a la investigación, desarrollo e innovación tecnológica de las empresas en Energías renovables, Eficiencia energética, entre otros. IDEA dispone del <u>sello de Pyme Innovadora</u>.</p> <p><u>Capacidad comercial</u>: cuenta con un departamento comercial consolidado formado por 11 personas con grandes capacidades y experiencia en el sector. Concretamente 3 personas forman parte del equipo de desarrollo de negocio y cuenta con 6 responsables comerciales en cada uno de los principales servicios (Ingeniería de proyectos (2), R&amp;O, TD 4.0, Redes y Arquitectura). Por otra parte, está presente en 26 países. Por último, hay que señalar que la facturación de 2021 ha ascendido a 11.4 M€.</p>
REGENERA	<p><u>Capacidades tecnológicas y productivas</u>: dispone de un equipo de personas altamente cualificadas (49) repartidas en diferentes áreas (obras e instalaciones, mantenimiento, I+D+i, Administración), contando con un departamento propio de I+D. Asimismo, cuenta con instalaciones y recursos materiales adaptados a las necesidades de los proyectos. Los principales equipos con los que cuenta son analizadores de redes, cámaras termográficas, analizadores de gases, equipos de medición, etc. REGENERA cuenta actualmente en sus oficinas ubicadas en Murcia una sección derivada para las actividades propias del Departamento de I+D. Dispone también de la gestión de diferentes SCADAs. Cuenta con certificación para gestión de calidad (ISO 9001), medioambiental (ISO 14001) y energéticas (ISO 50001), así como en gestión de Seguridad y Salud Laboral (OHSAS 18001).</p> <p>Adicionalmente, pertenece a varias plataformas tecnológicas y asociaciones, entre las que destaca: <u>AHMUR</u>, la Asociación Sectorial del Hidrógeno verde en la Región de Murcia, que es una asociación privada sin ánimo de lucro para</p>

	<p>promover la transición de la Región hacia una economía descarbonizada gracias a las energías renovables y al hidrógeno verde; y el <u>Clúster de Smart Cities e Internet de las Cosas de la Región de Murcia</u>, de la que REGENERA es miembro fundador y el coordinador del grupo de trabajo “Smart Energy”, asegurando con ello la transferencia de conocimiento y la generación de nuevas ideas y líneas de innovación entre sus diferentes miembros. REGENERA se ha posicionado como referente dentro de la Región de Murcia como <u>organismo experto en cambio climático y eficiencia energética</u>. Por otra parte, REGENERA dispone del <u>sello de Pyme Innovadora</u> proporcionado por el Ministerio de Economía por el trabajo realizado en el campo de Investigación, Desarrollo e Innovación en el marco de los programas H2020, LIFE y otros programas nacionales.</p> <p><u>Capacidad comercial</u>: presta servicios de consultoría energética, gestión energética, construcción industrial, mantenimiento industrial, innovación, etc. Concretamente proporciona soluciones integrales para aumentar la eficiencia energética de las instalaciones disminuyendo el consumo energético, aprovechar los recursos renovables, reducir el impacto en el medio ambiente y aumentar la competitividad de sus clientes. De esta manera la empresa REGENERA lleva a cabo acciones comerciales con personal propio de la empresa.</p>
VODIK	<p><u>Capacidad tecnológica y productiva</u>: actualmente la compañía no cuenta con instalaciones de I+D, si bien la adecuación y alquiler de una instalación para lograr los objetivos de investigación para el lanzamiento de nuevos productos está contemplada como estrategia empresarial. VODIK tiene sus oficinas ubicadas en Murcia. Cuenta con el apoyo logístico de las empresas madre, como son IDEA y REGENERA. VODIK pertenece a la Asociación Española del Hidrógeno</p> <p><u>Capacidad comercial</u>: VODIK realiza acciones comerciales a través del personal propio con el que cuenta. Sus integrantes tienen una dilatada experiencia y contacto en el sector, lo que simplifica en gran medida las tareas comerciales a desempeñar. No obstante, de cara a un crecimiento previsible se prevé la creación de un departamento comercial dedicado a este tipo de acciones.</p>
GGE	<p><u>Capacidad tecnológica y productiva</u>: para el desarrollo de diversos proyectos, cuenta con varios equipos, en colaboración con otras entidades. En colaboración con Gonzalez Byass cuenta con hidrogenera con tecnología PEM de 10 kg/día – 250 bar. En colaboración con Grupo Tatoma – ACL baterías cuenta con un banco de ensayos de powerpacks de pilas de combustible hasta 2000 W. Además, cuenta con una serie de socios para la realización de sus tareas de I+D: Fundación Hidrógeno Aragón, Klenergy, Pylon network, Grupo Solingenia, Sonnedix, Endesa, Éxito, Bound4blue, Ampere energy, Ángel Estaún, ATO.</p> <p>GGE es parte del <u>Green Cluster Alliance</u>, el cual está integrado por personas y organizaciones referentes en sus respectivos sectores: energía, construcción, medio ambiente y telecomunicaciones. Se trata de un clúster en pleno proceso de internacionalización que realiza proyectos en varios países europeos, sudamericanos y asiáticos.</p> <p><u>Capacidad comercial</u>: GGE realiza acciones comerciales a través del personal propio con el que cuenta.</p>

## 2.5 ADECUACIÓN DEL PRESUPUESTO AL TAMAÑO Y CAPACIDAD DEL CONSORCIO

El proyecto SOFC4GreenGrid cuenta con un presupuesto total de 2.835.691 € repartido entre 4 socios en un periodo de 27 meses. Este presupuesto se ajusta a un plan de trabajo en el que se proponen las actividades mínimas necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto. Se considera que el presupuesto global del consorcio y el particular de cada socio están perfectamente adecuados al tamaño y capacidad técnica del consorcio, mostrando además un **equilibrio óptimo entre participantes, anualidades y partidas**.

*Tabla 16. Presupuesto proyecto y aportación de la convocatoria Misiones*

SOCIO	2022	2023	2024	TOTAL	% PRESUPUESTO	APORTACIÓN CDTI
IDEA	58.359 €	607.610 €	323.104 €	989.073 €	34,88%	562.843 €
REGENERA	21.993 €	398.671 €	364.258 €	784.922 €	27,68%	623.538 €
VODIK	8.748 €	241.358 €	258.264 €	508.370 €	17,93%	308.502 €
GGE	20.886 €	170.043 €	362.397 €	553.326 €	19,51%	333.036 €
<b>TOTAL</b>	<b>109.986 €</b>	<b>1.417.682 €</b>	<b>1.308.023 €</b>	<b>2.835.691 €</b>	-	<b>1.827.919,00 €</b>

A continuación (Figura 14, Figura 15 y Tabla 17) de muestran algunos indicadores que demuestran esta ponderación y dan una idea global del presupuesto y su distribución en el consorcio.



Figura 14. Diagrama del reparto del presupuesto por partidas y anualidades

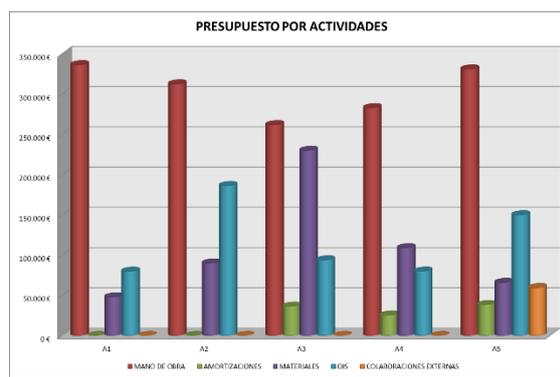


Figura 15. Diagrama del reparto del presupuesto por actividades

Tabla 17. Otros indicadores de tamaño de presupuesto

INDICADOR	VALOR
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	2.835.691 €
<b>% PRESUPUESTO DE MEDIANA EMPRESA</b>	34,88 %
<b>% PRESUPUESTO DE PEQUEÑA EMPRESA</b>	65,12%
<b>% SUBCONTRATACIÓN DE OIS</b>	20,81%
<b>PRESUPUESTO MÁXIMO</b>	989.073 €
<b>PRESUPUESTO MÍNIMO</b>	508.370 €

Las empresas tienen previsto utilizar recursos propios en combinación con los fondos públicos que se pudieran obtener en forma de ayuda a través de la convocatoria Programa “Misiones CDTI” para financiar sus respectivos presupuestos. La aportación económica que recibirá cada empresa será proporcional a su tamaño. Por tanto, IDEA es la empresa que concurre con un presupuesto mayor, con un 35% del total, seguida de REGENERA con un 28% y GGE con un 20%, Finalmente, VODIK concurre con un 18% del presupuesto.

En cuanto la parte financiable, IDEA al ser mediana empresa, recibirá hasta el 75% en actividades de Investigación Industrial (II) y hasta el 50% en actividades de Desarrollo Experimental (DE). El resto de las empresas (pequeñas empresas) recibirán una subvención hasta el 80% en actividades de II y hasta el 60% en actividades de DE. Dada la experiencia del consorcio en proyectos de I+D, los socios son conocedores de la problemática y riesgos de éstos y cuentan con la capacidad, recursos y experiencia para hacerles frente. Por su parte, VODIK, empresa de reciente creación, dispone en su accionariado de empresas con solvencia suficiente para su apoyo económico.

Las empresas que configuran el consorcio cuentan además con los recursos propios necesarios para poder asumir las obligaciones financieras derivadas de este proyecto. Por parte de VODIK, cabe señalar que es una empresa surgida de la convergencia de REGENERA e IDEA, orientada hacia el mercado del hidrógeno desde el punto de vista de su

potencial energético. Por tanto, al estar asociada a ambas entidades, cuenta con el respaldo económico para ejecutar el proyecto tanto a nivel técnico como económico.

En la Tabla 18 se aporta la información relativa a la capacidad económica de cada una de las entidades que componen el consorcio SOFC4GREENGRID. Teniendo en cuenta estos datos económicos, se han calculado las principales ratios financieros, de cara a comprobar la solvencia, liquidez y nivel de endeudamiento, para poder analizar la capacidad económica y financiera de las entidades. A continuación, se incluyen los valores obtenidos:

*Tabla 18. Capacidad económica de los miembros de SOFC4GREENGRID*

BALANCE	IDEA	REGENERA	VODIK	GGE
<b>Activo no corriente</b>	1.616.069,62	219.334,36	0,00	1.117.642,23
<b>Activo corriente</b>	6.147.531,05	1.954.360,57	3.558,84	318.161,45
<b>TOTAL ACTIVO</b>	7.763.600,67	2.173.694,93	3.558,84	1.435.803,68
<b>Patrimonio Neto</b>	3.967.642,80	575.284,00	2.384,24	714.290,58
<b>Pasivo no Corriente</b>	1.362.221,05	373.529,00	0,00	0,00
<b>Pasivo Corriente</b>	2.433.736,82	1.224.881,00	1.174,60	721.513,10
<b>TOTAL PASIV+ PAT NETO</b>	7.763.600,67	2.173.694,00	3.558,84	1.435.803,68
<b>Ratio Solvencia</b>	2,05	1,36	3,03	1,99

A partir de dichas ratios financieros se ha calculado la ratio de solvencia, valorando la capacidad que tiene la empresa para hacer frente a las deudas, tanto las de largo como las de corto plazo en base a su activo total. Todas las entidades del consorcio presentan valores próximos a los considerados como “óptimos” en la evaluación de la solvencia.

En definitiva, el soporte económico permitirá a las empresas destinar más recursos a la I+D que derivará en una reducción de los plazos de puesta en mercado de todos los productos y desarrollos objeto del proyecto.

### 3. IMPACTO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL

#### 3.1 IMPACTOS POSITIVOS SOBRE EL MEDIOAMBIENTE Y LA CALIDAD DE VIDA DE LOS CIUDADANOS

##### 3.1.1 IMPACTOS POSITIVOS DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIOAMBIENTE

La **descarbonización del planeta** es uno de los objetivos que se han marcado países de todo el mundo de cara a 2050. Para lograrlo, el **hidrógeno se revela como un componente clave**.

El proyecto **SOFC4GreenGrID** pretende generar conocimiento avanzado entorno al desarrollo de las fuentes de energía limpia que contribuyan a recortar de forma drástica las emisiones contaminantes en nuestro país, a descarbonizar la economía y ayude a la sociedad española en la búsqueda de la neutralidad climática y a reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles mediante la I+D en fuentes de energía renovables y sostenibles. **SOFC4GreenGrID se centra en la investigación y desarrollo para reforzar las capacidades tecnológicas en la etapa de aplicaciones de la cadena de valor del hidrógeno verde, mediante el desarrollo de pilas de combustible de óxido sólido SOFC con materiales innovadores y su integración en microrredes**, fomentando así la autonomía energética segura y sostenible en este caso, para aplicaciones estacionarias en entornos rurales con demanda de energía hasta 50 kW. Por tanto **SOFC4GreenGrID contribuirá de manera notable a impulsar el uso del hidrógeno verde**.

SOFC4GreenGrID está alineado con objetivos concretos de la política de “transición ecológica” descritos en la regulación (EU) 2020/852 de la Unión Europea: *control y prevención de la polución del medio ambiente y mitigación del cambio climático a través del apoyo a la investigación y desarrollo de tecnologías dirigidas a la descarbonización o/y la integración de las fuentes de energía renovables en el sistema de producción y distribución de energía*. En este contexto, SOFC4GreenGrID se centra en el desarrollo de pilas de combustible tipo SOFC para producción de energía limpia (no se generan productos contaminantes) y verde (uso de “hidrógeno renovable” como combustible) contribuyendo así a las soluciones dirigidas a alcanzar dichos objetivos de la “transición ecológica”.

Así pues, el presente proyecto tendrá los siguientes **impactos positivos sobre el medioambiente**:

- **Mejora de la sostenibilidad ambiental.** Una forma de proteger el medioambiente es mediante acciones relacionadas con el consumo de la energía, como el uso de fuentes de energía que tengan menos incidencia en el ambiente, como las energías renovables, y fomentar una cultura de ahorro de energía. El proyecto SOFC4GreenGrID contribuirá al posicionamiento del hidrógeno renovable como una de las alternativas para contribuir a la descarbonización de la economía, gracias a su capacidad de proporcionar un suministro energético flexible, adaptado y continuo, principalmente en aplicaciones estacionarias para el sector residencial e industrial. Por otra parte, el proyecto investigará en la producción de nuevos materiales para pilas de combustible mediante métodos de síntesis alternativos a los de alta temperatura y que no supongan un consumo elevado de energía, logrando así una reducción el gasto energético en procesos de producción que pudieran ser escalados a nivel industrial.
- **Reducción en el uso de recursos naturales.** El proyecto investigará nuevos materiales y sus prestaciones en pilas de combustible de óxido sólido que operen a temperaturas más bajas, próximas a 800 °C, y minimicen el uso de elementos críticos por su escasez en la naturaleza o por la dependencia de países en conflicto como, por ejemplo, el lantano, el gadolinio, el cobalto, el escandio o el estroncio.
- **Mejora de la eficiencia.** El proyecto SOFC4GreenGrID plantea el incremento de la eficiencia eléctrica de un sistema SOFC 50 kW, estableciéndose como objetivo una mejora en la **eficiencia eléctrica del 5% con respecto a referencias actuales**, siendo este uno de los tres indicadores cuantitativos del proyecto. De hecho, la posibilidad de alcanzar una alta eficiencia eléctrica es uno de los aspectos diferenciales de la tecnología SOFC frente a otras tecnologías.
- **Contribución a una economía circular.** El proyecto SOFC4GreenGrID contribuye a la economía circular, en tanto en cuanto, se centra en impulsar la tecnología SOFC para la

producción de electricidad a partir de hidrógeno verde. El proyecto abarca la producción de energía limpia –el combustible es hidrógeno verde y el producto residual es agua caliente, a su vez utilizable-. El hidrógeno verde irá reemplazando progresivamente al que es usado y producido con emisiones de CO<sub>2</sub>, ayudando a la transición energética. La reutilización del agua utilizada en la propia industria y el aprovechamiento de ésta en diferentes usos favorecerá también la economía circular.

- **Lucha contra el cambio climático.** SOFC4GreenGrID contribuye al desarrollo de tecnologías encaminadas a la descarbonización y a la integración de las fuentes de energía renovables en el sistema de producción de energía. La producción y uso de “hidrógeno renovable”, suponen una importante aportación a las propuestas tecnológicas para alcanzar el, no solo necesario sino urgente “sistema de energía sostenible” libre de impactos negativos en el medioambiente contribuyendo a la ralentización del cambio climático. El uso de hidrógeno renovable como vector energético contribuye a la flexibilización del sistema energético renovable, permitiendo a través de la conversión y almacenamiento energético responder de manera adecuada a las curvas de demanda energética reales y, por ende, contribuyendo a una mayor penetración de las energías renovables en la sociedad.

### 3.1.2 CONTRIBUCIÓN DEL PROYECTO A LA MEJORA DE LA CALIDAD DE VIDA DE LOS CIUDADANOS

Además de los impactos positivos sobre el medioambiente enumerados en la sección anterior, y que revierten sin duda en una mejora de la calidad de vida de los ciudadanos en general, el proyecto SOFC4GreenGrID es un proyecto de investigación para la **mejora de la competitividad de la industria de producción de pilas de combustible SOFC para su uso en sistemas de reconversión de hidrógeno verde a electricidad y apoya así la transición energética justa**, contribuyendo a una recuperación verde de la crisis causada por el COVID-19 e incrementando la resiliencia de la sociedad española en el ámbito de las energías renovables y limpias.

Mejoras en las tecnologías basadas en energías renovables tienen un gran impacto sobre la calidad de vida de los ciudadanos al asegurar una mayor estabilidad en el suministro de energía protegiendo así, tanto a las entidades como a los ciudadanos al minimizar las interrupciones de suministros, las cuales tienen un impacto directo sobre la ciudadanía e indirecto a través de las industrias que pudieran verse forzadas a parar su producción con el consecuente impacto en la parada de suministro de bienes y servicios.

Según La Hoja de Ruta del Hidrógeno, el desarrollo del hidrógeno renovable va a estar impulsado por el avance tecnológico. Es fundamental que la ciencia española y las empresas puedan participar en este proceso de desarrollo permitiendo crear conocimiento y ventajas competitivas a los sectores de la economía del hidrógeno en España, que revertirán en la sociedad a través de la generación de empleo, formación y conocimiento de alta calidad.

Dada su alta versatilidad como vector, se ha de evaluar y priorizar el potencial del hidrógeno renovable para almacenar energía y/o descarbonizar el sector del calor tanto en la industria como en los hogares en los casos en los que la electrificación no sea la solución más competitiva.

La contaminación atmosférica provocada, entre otros, por los gases de la industria, origina numerosos problemas de salud. Aunque solo los episodios de elevada contaminación acaparen la atención informativa, para la salud humana resulta mucho más perjudicial la exposición continuada y a largo plazo a contaminantes atmosféricos, incluso en bajas concentraciones.

Los contaminantes atmosféricos individuales pueden provocar una gran diversidad de impactos sobre la salud. Como efectos principales que pueden producir, se encuentran problemas respiratorios, provocando o agravando dolencias tales como las enfermedades pulmonares (p.e. asma), irritación de ojos y garganta, mareos, infartos de miocardio, fatiga, etc. También se pueden dar lugar a efectos psiquiátricos (irritabilidad, dificultad de concentración, ansiedad, etc.). Además, a largo plazo pueden causar daños renales, al hígado o al sistema nervioso central.

La mejora de la calidad de vida de los ciudadanos generada por el SOFC4GreenGrID se logra también a través de una mejora significativa de la calidad del aire, que además de su impacto sobre la salud, afecta a otros aspectos como, por ejemplo, mejora de los entornos de la ciudad para su uso y disfrute por los ciudadanos (parques, jardines y el resto de los espacios públicos), protección del patrimonio histórico-artístico al reducir la presencia de agentes contaminantes que pueden afectar a este patrimonio, etc.

En definitiva, **los resultados del proyecto SOFC4GreenGrID permitirán mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales y negocios, puesto que permite proporcionar un suministro energético flexible, adaptado y continuo a precios competitivos, principalmente en aplicaciones estacionarias para el sector residencial e industrial.**

### 3.2 CONTINUIDAD DEL PROYECTO

#### 3.2.1 PLANES DE CONTINUIDAD DE LAS INVESTIGACIONES DESARROLLADAS

El proyecto SOFC4GreenGrID permitirá a cada una de las empresas participantes comenzar a posicionarse como referente nacional en diferentes puntos de la cadena de implementación de la tecnología de pilas de combustible SOFC. En su conjunto, las empresas participantes (junto con los organismos de investigación implicados) establecerán una red de innovación a nivel nacional para el desarrollo de dispositivos de conversión de hidrógeno. De esta forma, existe un plan de continuidad de las investigaciones propuestas encaminado a la consolidación y mejora de los avances conseguidos en estos dos años:

SOCIO	PLAN DE CONTINUIDAD DEL PROYECTO
	<p>Líder de la A3, habrá adquirido las capacidades y conocimiento requerido para el ensamblado de celdas y testeo de “stacks” SOFC que permita aumentar la potencia del sistema hasta el valor deseado por el cliente. El proyecto tendrá una continuidad gracias a la <b>posibilidad de integrar los “stacks” desarrollados en la actividad A1, sustituyendo a los comerciales usados en SOFC4GreenGrID y completando así la producción de sistemas propios.</b> En definitiva, junto con REGENERA, IDEA podrá <b>diseñar, fabricar y validar módulos SOFC de potencia modular, en función de las necesidades del mercado.</b></p>
	<p>Como líder de las A1 y A2, contará con el conocimiento necesario para implementar una línea de fabricación de celdas y “stacks” SOFC basada en la tecnología desarrollada por los organismos de investigación participantes en el proyecto (diseño y optimización de celdas y materiales funcionales). En este sentido, el plan de continuidad prevé una <b>transferencia tecnológica que permita a REGENERA comenzar con la fabricación industrial de celdas basándose en los procesos establecidos en SOFC4GreenGrID.</b> Igualmente, los resultados de la actividad A2 <b>sentarán las bases para el escalado de nuevos materiales funcionales, de cara a su comercialización y/o implementación en las celdas a fabricar.</b></p>
	<p>Como líder de la A4, habrá desarrollado las habilidades para el diseño y modelado de sistemas de conversión de hidrógeno basados en SOFC. Siendo éste un campo en significativo auge, el proyecto le situará en una posición privilegiada de cara a <b>establecer nuevas colaboraciones para el desarrollo e integración de diferentes sistemas dentro de la cadena de valor del hidrógeno verde.</b></p>
	<p>Como líder de la A5, va a centrarse en la integración del sistema en entornos reales. De nuevo, gracias al importante empuje que está recibiendo el hidrógeno verde como vector energético clave en la transición ecológica hacia un escenario libre de emisiones, se prevé una importante demanda de empresas con experiencia demostrable en instalación de sistemas de este tipo. Como continuidad del proyecto, se prevé <b>ampliar progresivamente la potencia máxima alcanzable, así como ir integrando el sistema con diferentes tecnologías de producción de energía renovable y almacenamiento electroquímico.</b></p>

### 3.2.2 ACTUACIONES RELACIONADAS CON EL PROYECTO QUE GENEREN LA IMPLICACIÓN DE LA SOCIEDAD

Todas las empresas y OIs del consorcio están plenamente comprometidas con el proyecto **SOFC4GreenGrid** y son conscientes de la importancia del camino que emprenden juntas y de la ambición de éste, por lo que están **ampliamente interesadas en dar a conocer los resultados** que de él se generen, dado que ello reportaría no solo una gran ventaja competitiva, sino incluso una mejora en la imagen de marca. Así pues, una vez se finalice el proyecto, **las empresas del consorcio tienen la intención de difundir el proyecto** y, concretamente, **aquellos resultados no protegidos**, a través de sus páginas web y redes sociales, así como en foros sectoriales donde participen y allí donde se considere adecuado, **con el fin de posicionarse y de dar a conocer a la sociedad la contribución de éste hacia el impulso del hidrógeno verde como combustible sostenible del futuro**. A continuación, se detallan las actuaciones concretas que se generarán por parte de cada entidad.

Tabla 19. Actuaciones con implicación de la sociedad

SOCIO	ACTUACIONES QUE GENERARÁN IMPLICACIÓN DE LA SOCIEDAD
	<p>El departamento de Marketing se encargará de hacer visible el proyecto y sus resultados, salteando las barreras físicas. Además, se encargará de mantener el contacto, hacer seguimiento e informar a clientes potenciales sobre SOFC4GreenGrid. Otro canal muy empleado para la comunicación en IDEA son las redes sociales. Actualmente la empresa tiene en su cuenta de LinkedIn (<a href="https://www.linkedin.com/company/idea-ingenieria/">https://www.linkedin.com/company/idea-ingenieria/</a>) con más de 20.000 seguidores de los contenidos del canal, reflejando el impacto positivo que significará realizar una publicación sobre el proyecto. Otras redes sociales en las que está presente son Twitter (<a href="#">IDEA (@IDEA_INGENIERIA) Twitter</a>); Instagram (<a href="#">IDEA (@ideaingenieria) Instagram</a>); Facebook (<a href="#">IDEA - Inicio   Facebook</a>). Asimismo, IDEA realiza acciones comerciales para el acceso a nuevos nichos internacionales, siendo además muy participativo en ferias y congresos del sector como el Congreso Europeo de Hidrógeno Verde (EHEC), I Encuentro de Hidrógeno Verde (Foro organizado por LA VERDAD). Por tanto, a través de estas actividades se proporcionará información del proyecto y sus resultados.</p> <p>Finalmente, dado que la empresa genera y trabaja constantemente en consolidar un ecosistema abierto de innovación mediante el cual está en contacto con diversas entidades público-privadas como AHMUR (Asociación Sectorial del Hidrógeno Verde de la Región de Murcia), CEPYME (Confederación Española de la Pequeña y Mediana Empresa), INFO (Instituto de Fomento de la Región de Murcia), CEEIC (Centro Europeo de Empresas e Innovación de Cartagena), etc.</p>
	<p><b>REGENERA</b> tiene previsto realizar acciones de visibilidad y promoción del proyecto en los canales habituales como son la página web (<a href="#">Inicio   Regenera (regeneralevante.com)</a>), RRSS como <a href="#">LinkedIn (REGENERA   LinkedIn)</a>; <a href="#">Twitter (REGENERA (@REGENERA_ESE) / Twitter)</a> y <a href="#">Facebook (Regenera - Inicio   Facebook)</a>, y redacción de comunicados o notas de prensa en medios de comunicación en el inicio y final del proyecto, y de los resultados que requieran una visibilidad científica y social.</p> <p>Por su parte también se evaluará la participación en seminarios, talleres o congresos sobre pilas de combustible e hidrógeno verde para la difusión de los resultados.</p>
	<p>La compañía tiene previsto difundir el proyecto en su página web (<a href="https://www.vodik.es/">https://www.vodik.es/</a>) y en RRSS, realizando notas de prensa en la misma. Además, mediante la participación en ferias, la compañía realizará actividades de promoción del proyecto. En última instancia y como resultado de un continuo desarrollo comercial, VODIK dará a conocer el proyecto y sus resultados entre sus potenciales clientes.</p>

	<p>La difusión se realizará mediante 5 formatos: congresos técnicos y científicos, ferias sectoriales, grupos de networking, redes sociales y página web de la empresa.</p>
---	---

### 3.3 CREACIÓN DE EMPLEO

#### 3.3.1 CREACIÓN DE EMPLEO PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

El proyecto SOFC4GreenGrid precisa de la activa participación de personal de alta cualificación, tanto en el campo de la ingeniería y la química como en tecnologías energéticas. Las empresas involucradas tienen, todas ellas y en diferente medida, alta capacidad de creación de empleo, también las Universidades y los Centros Tecnológicos colaboradores del proyecto. En la Tabla 20 se recoge los nuevos puestos de trabajo previstos para el desarrollo del proyecto.

Tabla 20. Creación de empleo para el desarrollo del proyecto / perfiles / H-M

Participante	Tipo de perfiles buscados para la ejecución del proyecto	Nº	
		H	M
	3 ingenieros superiores industriales/eléctricos u otros perfiles ingenieriles o graduados relacionados para el diseño, ensamblado, testeo y validación de sistemas SOFC. En 2022	1	2
	3 ingenieros superiores de la rama Ingeniería industrial, química o similar. En 2023	2	2
	4 titulados en ingeniería con experiencia en electroquímica y balances de planta. En 2023	2	2
	2 ingenieros superiores, 1 en 2023 y 1 en 2024.	2	0

En resumen, el proyecto contribuirá a la creación neta de **13 nuevos puestos de trabajo** en diferentes sectores en un periodo de 3 años para la ejecución del proyecto. Todas las nuevas contrataciones se realizarán garantizando la igualdad de oportunidades para todos los candidatos y se tomarán las medidas necesarias para evitar la discriminación por cualquier motivo, en especial de sexo, raza o religión.

#### 3.3.2 CREACIÓN DE EMPLEO DERIVADA DEL PROYECTO

Como consecuencia de las soluciones tecnológicas del proyecto, el impacto sobre la sociedad se relaciona con las nuevas oportunidades de generación de empleo, asociadas a la producción de H<sub>2</sub> y su uso en la industria. Así, para la materialización de los resultados obtenidos en el proyecto SOFC4GreenGrid, será necesaria la creación de empleo, por un lado, para continuar los desarrollos hasta TRLs cercanos a mercado y la apertura de nuevas líneas de negocio derivadas del mismo y, por otro lado, para la industrialización de los resultados del proyecto. El escenario más probable para cada uno de los socios sería el siguiente (Tabla 21).

Tabla 21. Creación de empleo derivada del proyecto

Participante	Tipología de perfiles de buscados	Nº	
		H	M
	Ingenieros industriales/eléctricos u otros perfiles ingenieriles o graduados relacionados para el diseño, ensamblado, testeo y validación de sistemas SOFC	3	4
	Ingenieros industriales u otros perfiles ingenieriles o graduados relacionados con la sostenibilidad energética o medio ambiental.	3	3
	Se espera nuevas contrataciones de ingenieros industriales y/o químico para llevar a cabo labores de modelización del sistema y ejecución del prototipo	1	2

	Se espera nuevas contrataciones de un ingeniero industrial para llevar a cabo las integraciones en contexto industrial.	1	0
---	---	---	---

Por tanto, el **impacto directo en la creación de empleo que se espera del proyecto asciende a 17 nuevos puestos de trabajo en las entidades participantes**. Por tanto, SOFC4GreenGrID tendrá un efecto altamente positivo en el empleo futuro de personal ya que reforzará la estructura actual de personal dedicado a tareas de investigación y desarrollo en cada una de las empresas, así como de mejora en general, incorporando perfiles diversos que permitan conformar un equipo I+D adecuado para la realización de nuevos proyectos. Gracias a los nuevos desarrollos en pilas de combustible SOFC, se esperan nuevas oportunidades de negocio que impulsen la innovación en el sector industrial, concretamente la **creación y consolidación de una red de innovación y desarrollo a nivel nacional de dispositivos de conversión de hidrógeno**. Dichas oportunidades de negocio a explotar por el consorcio generarán nuevas oportunidades de crecimiento en las empresas participantes que resultarán en una creación de empleo elevada en los años posteriores a la finalización del proyecto para poder llevar a mercado los resultados del proyecto. Finalmente, el presente proyecto tendrá un **impacto indirecto importante en forma de empleo indirecto y de generación de nueva demanda de empresas proveedoras**, así como la reactivación de operaciones de compra y venta entre proveedores, fabricantes y clientes, multiplicándose, por tanto, los efectos de la ayuda solicitada.

### 3.4 INVERSIÓN PRIVADA MOVILIZADA

La inversión privada movilizada prevista por el consorcio SOFC4GreenGrID para los próximos 3 años (2022-2024) durante el desarrollo del proyecto asciende a 2.835.692 € (presupuesto estimado del proyecto), que será asumida por las entidades del consorcio en caso de que no se cubran con la ayuda solicitada a CDTI en la presente convocatoria. En la sección 2.5, y en particular la Tabla 16, se recoge un resumen del cuadro de financiación del proyecto y los fondos propios de cada socio dispuestos para la ejecución del proyecto, así como las capacidades de cada uno de los socios para cumplir con todas las obligaciones del proyecto.

A continuación, se detalla en más detalle cada una de dichas inversiones identificadas por cada uno de los socios:

- **IDEA** es líder de la actividad A3, habrá adquirido las capacidades y conocimiento requerido para el ensamblado de celdas y testeo de “stacks” SOFC lo que permitirá que a través de su nueva línea de negocio IDEAgreen, junto con el departamento de Ingeniería, pueda mejorar su port-folio con nuevas soluciones, pudiendo así aumentar la oferta a sus clientes en cuanto a soluciones renovables para ahondar en su objetivo de descarbonización pudiendo producir energía renovable utilizando sistemas de mayores potencia. Además de esto, con los logros alcanzados por el desarrollo de la Actividad 1, se presenta la **posibilidad de integrar los “stacks” desarrollados en la dicha actividad, pudiendo realizar el testeo de los mismos, por lo que se podría llegar a la producción de sistemas SOFC propios**. En definitiva, junto con REGENERA, IDEA podrá **diseñar, fabricar y validar módulos SOFC de potencia modular, en función de las necesidades del mercado**.
- **En el caso de REGENERA** el conocimiento adquirido será utilizado por la empresa para fortalecer sus líneas de sostenibilidad mediante los nuevos materiales desarrollados en la A1 y A2 y fortalecer el know-how de REGENERA en el ciclo del Hidrógeno, línea de negocio que recientemente está dando fructíferos contratos a la empresa; con todo ello, REGENERA espera un retorno de 800.000 € a medio plazo mediante la ejecución del proyecto SOFC4GreenGrID.
- **VODIK**, como líder de la A4 de prototipado y balance de planta de sistema SOFC de 50 kW, dispondrá de un modelo teórico de sistemas SOFC de 10 y 50 kW y prototipos de 10 y 50 kW incluyendo el módulo SOFC, balance de planta y módulo de control, lo que le permitirá diversificar su actual línea de servicios a través de la investigación y desarrollo

de pilas de combustible que habiliten el uso de hidrógeno verde para sus clientes, mediante la promoción de aplicaciones energéticas estacionarias.

- **GGE** dispondrá de infraestructura auxiliar asociada a las tecnologías del hidrogeno y pilas de combustible de alta temperatura, con la cual podremos desarrollar otros proyectos de misma índole para poder seguir avanzando en la capacitación de técnicos y profundizar en las integraciones futuras tanto en industrias, comercios como hogares.

Una vez finalizado el proyecto, a partir de 2025 se estima que la inversión privada movilizada derivada del proyecto ascenderá a 1.900.000 €. En Tabla 22 se presenta el detalle de la inversión privada movilizada derivada del proyecto por entidad.

Tabla 22. Inversión privada movilizada del proyecto

SOCIO	Descripción inversión movilizada privada derivada del proyecto	Inversión derivada proyecto
	Nuevas líneas de negocio basados en el diseño, ensamblado, testeo y validación de sistemas SOFC. Participación en otros proyectos colaborativos a nivel internacional tomando como punto de partida los resultados del proyecto.	900.000€
	Nuevas líneas de negocio basados en el desarrollo e implantación de nuevos materiales más sostenibles en la industria. Participación en otros proyectos colaborativos a nivel internacional tomando como punto de partida los resultados del proyecto.	800.000€
	Inversión en líneas de negocio basadas en el modelado y dimensionamiento de pilas de combustible SOFC, incluyendo todos los componentes auxiliares que conforman el balance de planta del sistema global, así como en la monitorización de los consumos de hidrógeno y producción de energía eléctrica de estos sistemas.	150.000€
	Participación en proyectos de I+D+i relacionados con tecnologías del hidrógeno y pilas de combustible e inversión en equipamiento específico para estas nuevas tecnologías.	50.000€

### 3.5 MEDIDAS DE LAS EMPRESAS HACIA LA IGUALDAD DE GÉNERO Y LA INCLUSIÓN SOCIAL

Todas las empresas participantes en el proyecto SOFC4GreenGrID tienen desarrolladas **iniciativas para favorecer la incorporación de mujeres a la vida laboral, así como la conciliación efectiva de la vida personal y familiar.**

SOCIO	MEDIDAS HACIA LA IGUALDAD DE GÉNERO
	<p><b>IDEA</b> tiene establecido un plan de igualdad en la actualidad mientras que el resto de los socios se encuentran en proceso de establecimiento de planes similares. De este modo, se puede garantizar que el consorcio del proyecto tendrá en consideración las medidas necesarias para garantizar la igualdad efectiva entre hombres y mujeres en las actividades a desarrollar por el consorcio. Estas medidas se articularán con las siguientes acciones efectivas que serán tenidas en cuenta por todos los socios participantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Igualdad de oportunidades.</li> <li>• Desarrollo de oportunidades en fomento de la investigación y presentación de proyectos cuyo investigador principal sean mujeres.</li> <li>• Medidas de conciliación de la vida personal, laboral y familiar.</li> <li>• Formación para la igualdad y publicidad de las medidas.</li> </ul> <p><b>IDEA</b> apuesta por la implicación de mujeres profesionales en las distintas áreas, siendo un 36% de los puestos directivos mujeres, y un 31% de la plantilla</p>

	<p>también. En los últimos años se ha multiplicado por 5 su contratación. Para el proyecto SOFC4GreenGrid se espera la participación de un 33% de mujeres, incluyendo como responsable del proyecto a una mujer (Teresa Serna), demostrando la presencia de mujeres en posiciones de responsabilidad de la empresa. Adicionalmente, IDEA ha llevado a cabo una serie de medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantación del Plan de Igualdad.</li> <li>• Implantación de un Protocolo de Prevención, Detección y Actuación Frente al Acoso Laboral.</li> <li>• Creación de un Comité de Igualdad y una Comisión Negociadora.</li> <li>• Diagnóstico para analizar la situación actual en materia de igualdad y mejorar la gestión de los recursos humanos, promoviendo la igualdad de oportunidades.</li> <li>• Publicación de vacantes de trabajo con perspectiva de género.</li> </ul>
	<p><b>REGENERA</b> cuenta en su plantilla con 58 profesionales, de los cuales aproximadamente un 30% son mujeres. REGENERA promueve la igualdad de género en todas sus contrataciones estando cercano a la igualdad de mujeres y hombres en plantilla, frente al 21% de mujeres que existía en 2018. Respecto a la participación en el proyecto se cuenta con exactamente un 57% de mujeres en el personal que llevará a cabo las actividades del proyecto, lo cual es destacable en el sector.</p> <p>Además, REGENERA ha llevado a cabo una serie de medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comienzo de la creación de un plan de igualdad desde mediados de 2022.</li> <li>• Creación de un Comité de Empresa que fomenta y favorece la implantación de medidas de conciliación y mejora laboral para los trabajadores.</li> <li>• Diagnósticos sobre igualdad de oportunidades en las empresas, con esta medida se consigue analizar de forma continua que se está ofreciendo igualdad de oportunidades en la plantilla. En el caso de que el resultado fuera negativo, se llevaría a cabo un plan de acción.</li> <li>• Se seleccionan a los profesionales más adecuados por medio de un sistema basado en los méritos y capacidades de los candidatos, de manera objetiva, sin tener en cuenta su género.</li> <li>• Comunicación transparente y con perspectiva de género, que refleje el compromiso de la empresa con la eliminación de desigualdades por razón de género.</li> <li>• Búsqueda de balance en la conformación de las plantillas de trabajo.</li> <li>• Condena de todo tipo de acción discriminatoria ocurrida dentro de la empresa.</li> <li>• Asegurar la igualdad de remuneraciones para empleados que realizan las mismas labores.</li> <li>• Distribución de documentos corporativos que aluden explícitamente a la igualdad entre mujeres y hombres como objetivo sustancial de la organización.</li> </ul>
	<p>A la hora de la ejecución del presente proyecto, VODIK llevará a cabo acciones efectivas basadas en los siguientes puntos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Igualdad de oportunidades.</li> <li>• Desarrollo de oportunidades en fomento de la investigación y presentación de proyectos cuyo investigador principal sean mujeres.</li> <li>• Medidas de conciliación de la vida personal, laboral y familiar.</li> <li>• Formación para la igualdad y publicidad de las medidas.</li> <li>• Establecimiento de un plan de igualdad.</li> </ul> <p>A continuación, se resumen las medidas orientadas a la igualdad de género que se llevan a cabo en VODIK:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Próxima creación de un plan de igualdad (en fase de elaboración actualmente).</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de un Comité de Empresa que fomenta y favorece la implantación de medidas de conciliación y mejora laboral para los trabajadores.</li> <li>• Igualdad de oportunidades y de trato entre mujeres y hombres, en lo referente al acceso al empleo, a la formación y a la promoción profesional, así como a las condiciones de trabajo.</li> <li>• Diagnósticos sobre igualdad de oportunidades en la empresa; con esta medida se consigue analizar de forma continua que se está ofreciendo igualdad de oportunidades en la plantilla. En el caso de que el resultado fuera negativo, se llevaría a cabo un plan de acción.</li> <li>• Se seleccionan a los profesionales más adecuados por medio de un sistema basado en los méritos y capacidades de los candidatos, de manera objetiva, sin tener en cuenta su género.</li> <li>• Conciliación efectiva de la vida laboral, personal y familiar: VODIK persigue durante el desarrollo de sus actividades garantizar la conciliación de la vida profesional y personal, potenciando medidas de conciliación que faciliten el equilibrio entre éstas.</li> <li>• Comunicación transparente y con perspectiva de género, que refleje el compromiso de la empresa con la eliminación de desigualdades por razón de género.</li> <li>• Compromiso con la visualización, tanto dentro del proyecto, como en la divulgación del mismo hacia el exterior, de la contribución de las mujeres investigadoras al proyecto.</li> <li>• Búsqueda de balance en la conformación de las plantillas de trabajo.</li> <li>• Asegurar la igualdad de remuneraciones para empleados que realizan las mismas labores.</li> <li>• Distribución de documentos corporativos que aluden explícitamente a la igualdad entre mujeres y hombres como objetivo sustancial de la organización.</li> <li>• De este modo, se puede garantizar que VODIK tendrá en consideración las medidas necesarias para garantizar la igualdad efectiva entre hombres y mujeres en las actividades a desarrollar por el consorcio.</li> </ul>
	<p><b>GGE</b> en su plantilla son casi el 50% mujeres promoviendo de manera activa la igualdad de género en los procesos de selección de personal, frente al 20% de mujeres que existía en 2018. Respecto a la participación en el proyecto se cuenta con un 50% de mujeres en el personal que llevará a cabo las actividades del proyecto.</p> <p>Además, <b>GGE</b> ha llevado a cabo una serie de medidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comienzo de la creación de un plan de igualdad desde enero de 2022.</li> <li>• Diagnósticos sobre igualdad de oportunidades en las empresas.</li> <li>• Búsqueda de balance en la conformación de las plantillas de trabajo.</li> <li>• Garantizar la igualdad de remuneraciones para empleados que realizan las mismas labores.</li> </ul>

En la Tabla 23 se resumen las **medidas orientadas a la inclusión social** de cada una de las empresas:

*Tabla 23. Medidas orientadas a la inclusión social*

SOCIO	MEDIDAS HACIA LA INCLUSIÓN SOCIAL
	<p>Aparte de cumplir con los requisitos marcados en el Real Decreto Legislativo 1/2013, que marca que en empresas de 50 o más trabajadores, el 2% de la plantilla han de ser trabajadores con discapacidad (superior al 33%) y que se tienen que realizar todas las adaptaciones necesarias para su inclusión laboral, cabe destacar que la empresa está trabajando en el proceso de puesta en marcha</p>

	<p>en medidas de conciliación de la vida personal, laboral y familiar, siendo algunas de ellas las siguientes que se indican a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Creación de un Comité de Empresa que fomenta y favorece la implantación de medidas de conciliación y mejora laboral para los trabajadores</li> <li>Horario de trabajo flexible durante todo el año</li> <li>Jornada intensiva todos los viernes del año y en verano</li> <li>Jornadas de convivencia y team building para todos los empleados</li> <li>Fomentar el desarrollo personal y profesional de los empleados mediante la asistencia a los seminarios y cursos de formación</li> <li>Igualdad de oportunidades y trato entre hombres y mujeres</li> </ul>
	<p>REGENERA ha instaurado un nuevo tipo de gestión, donde los recursos humanos se configuran como activo principal de la organización y donde el principio de inclusión se ha convertido en eje conductor y principio básico de la cultura de esta empresa. REGENERA se encuentra en un proceso activo de implantación de un plan de igualdad en la empresa.</p> <p>Como búsqueda de esta inclusión social, se han introducido como elementos fundamentales, entre otros, la formación continua, la motivación, el desarrollo de un buen clima laboral y la conciliación de la vida familiar, laboral y personal, que se convierten en factores básicos para mejorar la productividad, pero también para atraer y mantener a personal cualificado. Recientemente REGENERA ha adquirido unas nuevas instalaciones en la ciudad de Murcia, asegurándose que se dispone de todas las medidas de accesibilidad necesaria para la posible incorporación de personas con discapacidad sin que se vea afectada ni impedida su actividad laboral.</p>
	<p>VODIK posee un sistema de gestión corporativa donde el empleado adquiere un papel central. Este sistema está dotado de medidas como la siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Horario de trabajo flexible durante todo el año y jornada intensiva todos los viernes del año y en verano.</li> <li>• Fomentar el desarrollo personal y profesional de los empleados mediante la asistencia a los seminarios y cursos de formación.</li> <li>• Condena de todo tipo de acción discriminatoria ocurrida dentro de la empresa.</li> </ul> <p>Desde la empresa se está trabajando activamente en la elaboración de un plan de inclusión que resalta la política de no discriminación por ninguna motivación de género, etnia y religión a la hora de contratar y en el resto de las actividades rutinarias que acontecen en la compañía.</p>
	<p>GGE posee un sistema de gestión corporativa con las medidas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Horario de trabajo flexible durante todo el año</li> <li>• Jornada intensiva todos los viernes del año</li> <li>• Teletrabajo</li> <li>• Conciliación de vida laboral para quien tenga personas dependientes a su cargo</li> <li>• Formaciones técnicas y de desarrollo personal</li> </ul>

### 3.6 IMPACTO SOBRE LA COMPETITIVIDAD DE LAS EMPRESAS DEL CONSORCIO

Los resultados que se prevé obtener en SOFC4GreenGrID **incrementarán las capacidades de todos los miembros del consorcio, dotándoles de tecnologías o soluciones de valor añadido** que actualmente no poseen, en el ámbito de la fabricación de pilas de combustible, lo que les puede proporcionar ventajas competitivas en los mercados a los que se dirigen. Los resultados del presente proyecto impactarán positivamente sobre la competitividad de todas las empresas del consorcio, principalmente:

- Consolidación de una infraestructura nacional para la fabricación e integración de sistemas de conversión de hidrógeno verde en electricidad basados en tecnología SOFC, lo cual incluye: capacidad de síntesis de materiales a gran escala, capacidad de

fabricación de celdas y “stacks”, capacidad de ensamblado y fabricación de sistemas de potencia modular a partir de los “stacks” SOFC fabricados y, por último, capacidad de integración de sistemas en entornos reales.

- Reducción de costes de materiales de celdas y stacks frente a competidores, desde dos puntos de vista: (i.) uso de nuevos materiales más económicos y (ii.) optimización de métodos de síntesis y producción a escala.
- Aumento de capacidades gracias a tecnologías y soluciones de valor añadido en el ámbito de pilas de combustible para hidrógeno verde, lo que les proporcionará ventajas competitivas en los mercados en los que actualmente operan.
- Consolidación de nuevas líneas de negocio en el ámbito de las energías limpias y el hidrógeno verde.
- Nuevas oportunidades colaborativas para todo el consorcio de SOFC4GreenGrID para continuar desarrollando tecnologías SOFC para pilas de combustible participando en consorcios internacionales y oportunidades, principalmente en el Programa marco de colaboración de Horizon Europe y otras convocatorias europeas similares.

En la Tabla 24 se resume el impacto del proyecto en la competitividad de cada una de las empresas del consorcio:

Tabla 24. Impacto del proyecto sobre la competitividad de las empresas

SOCIO	Medidas de impacto sobre la competitividad de las empresas
	<p>SOFC4GreenGrID contribuye a consolidar la nueva línea estratégica IDEAGREEN, que tiene como filosofía corporativa la descarbonización del planeta, por lo que colabora en proyectos donde el vector energético del Hidrogeno Verde se usa como materia prima o combustible. En esta línea se ofrecen los servicios de ingeniería y consultoría, en todo el ciclo de vida del H<sub>2</sub> verde, tanto como materia prima para el uso industrial como combustible para el transporte: desde la generación de la energía eléctrica renovable, diseño de las líneas de distribución eléctrica y las subestaciones asociadas para el transporte de la energía, ingeniería integradora con el tecnólogo del electrolizador para la definición de la planta de hidrogeno, asesoramiento y definición del sistema de almacenamiento y manipulación del H<sub>2</sub>, para finalmente hacer la integración para su uso final.</p>
	<p>SOFC4GreenGrID contribuirá al incremento de la competitividad de la empresa tanto a nivel regional y nacional como europeo, ya que todas las innovaciones en las que ha trabajado y trabaja durante estos años están relacionados con los futuros avances tecnológicos en el campo de la energía.</p> <p>En este sentido, el presente proyecto responde al desarrollo estratégico de una de las principales áreas de interés de la empresa: la actual línea de investigación de REGENERA en Hidrógeno Verde va dirigida a la implantación de éste como vector energético en industria, logística, movilidad y flexibilidad energética. El presente proyecto permitirá a REGENERA diversificar en el ámbito de nuevos materiales innovadores para nuevos diseños y fabricación de celdas SOFC de geometría planar, frente a sus competidores.</p>
	<p>SOFC4GreenGrID le permitirá consolidar su posición nacional en el desarrollo de proyectos integrales de hidrógeno en el sector industrial y, por otro lado, diversificar su actual línea de servicios a través de la investigación y desarrollo de pilas de combustible que habiliten el uso de hidrógeno verde para sus clientes, mediante la promoción de aplicaciones energéticas estacionarias.</p>
	<p>GGE pretende avanzar en sus desarrollos tecnológicos basados en hidrógeno y pilas de combustible para poner en valor todo el conocimiento ya generado, y de esta forma, aplicarlo en la industria, creando modelos de negocios rentables y eco-innovadores.</p>