

# **Análisis del Potencial de Desarrollo de Tecnologías Energéticas**

## **ANEXO**

# **ENERGÍA NUCLEAR DE FISIÓN**



Diciembre 2018

## CONTEXTO Y METODOLOGIA

Este segundo **Análisis del Potencial de Desarrollo de las Tecnologías Energéticas, APDTE 2018-19** (semejante al primero, desarrollado en 2014-15) coincide con el desarrollo del Plan Nacional Integrado de energía y Clima (**PNIEC**) y con el de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (**LCCyTE**), ambos previstos para 2019, a cuya evolución ha estado atento y está, además, alineado con los objetivos generales de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación.

**El impulso a la I+D+i energética en ambos (plan y ley) habrá de potenciarse de manera decidida si el país apuesta por maximizar el aprovechamiento de oportunidades de desarrollo socioeconómico que la ineludible transición energética ofrece.**

La premisa en la que se basa la actividad de ALINNE (Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas) es que **la investigación y la innovación (I+i) estimulan la productividad y la competitividad del país**, son esenciales para mantener nuestro modelo socioeconómico y permiten afrontar los desafíos asociados a la energía (transición energética, generación, uso e impacto) sacando partido de nuestros recursos y fortalezas y creando oportunidades de desarrollo socioeconómico.

El APDTE 2018 ha seguido una **metodología**, semejante a la del primer APDTE 2015, basada en la colaboración entre las Plataformas Tecnológicas Españolas de ámbito Energético (PTEs), ALINNE y un Grupo de Evaluación (GEVAL, formado por unos 45 expertos) y se ha **desarrollado en varias fases**: 1) aportación de datos sobre 15 indicadores de evaluación propuestos; 2) presentación de la situación y perspectivas por parte de las PTEs; 3) valoración de la situación y tendencias por el GEVAL mediante votaciones, siguiendo un método de subjetividad compartida; 4) la redacción de un anexo (como el que aquí se presenta), a partir de toda la información recabada, para cada área tecnológica y 5) redacción de un Resumen Ejecutivo del APDTE 2018-19 con la síntesis de resultados del conjunto de las 13 áreas tecnológicas analizadas.

**En este Anexo se recogen los resultados del Análisis del Potencial de Desarrollo Tecnológico relacionado con la Energía Nuclear de Fisión en España.**

**Se ha contado para ello con la colaboración de la Plataforma Tecnológica de Ámbito Energético (PTE) CEIDEN.**

# INDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	4
1.1. Perspectiva global de la energía nuclear .....	5
1.2. Perspectivas de la energía nuclear en la Unión Europea .....	7
1.3. La energía nuclear en España .....	10
1.4. Argumentos básicos para apoyar el despliegue de la Energía Nuclear de Fisión.....	14
1.5. Potencialidades frente a una Transición Energética con Descarbonización de la Economía de la Energía Nuclear de Fisión .....	14
1.6. Tipos de Apoyo que reivindica el sector de la Energía Nuclear de Fisión ...	15
2. POSICIONAMIENTO Y PERSPECTIVAS SOCIOECONÓMICAS DE LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA .....	16
2.1. Economía y Empleo .....	16
2.2. Capacidad en ciencia, tecnología e innovación.....	19
3. RETOS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO .....	20
3.1. Retos de I+D+i en Energía Nuclear de Fisión .....	20
3.1.1. “RT1. Operación a largo plazo” .....	21
3.1.2. “RT2. Gestión del combustible irradiado y residuos” .....	21
3.1.3. “RT3. Nuevas tecnologías / nuevos proyectos” .....	22
3.2. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs) Identificadas por CEIDEN.....	23
3.3. Disponibilidad de recursos financieros e instrumentos para el desarrollo tecnológico.....	24
4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL GEVAL.....	25
4.1. Conclusiones del GEVAL.....	27
5. REFERENCIAS Y CONTRIBUCIONES .....	30
5.1. Contribuciones y Expertos Participantes .....	30
5.2. Agradecimientos .....	30
5.3. Referencias Bibliográficas .....	31
5.4. Abreviaturas.....	31
5.5. Apéndices.....	32

## 1. INTRODUCCIÓN

En este documento se resume el trabajo conjunto de la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión (CEIDEN) y el Comité de Estrategia de ALINNE, en el contexto del ejercicio APTE 2018 de análisis del potencial de desarrollo de las tecnologías energéticas.

Se incluye inicialmente una visión del estado de la energía nuclear, particularmente de sus tecnologías, tanto a nivel global, como a nivel de la UE y de España.

Conviene recordar que nuestro país tiene una potencia nuclear instalada importante; es el quinto país de la UE en potencia instalada y el undécimo del mundo.

La perspectiva y retos que se presentan de forma muy resumida en los apartados 1, 2 y 3 se han definido a partir de la encuesta y presentación de la Plataforma Tecnológica Española de Energía Nuclear de Fisión (CEIDEN) y de la discusión sobre los datos aportados por dicha plataforma realizada por el Grupo de Evaluación de ALINNE (GEVAL), en la reunión conjunta mantenida el 29 de noviembre de 2018 con dicha plataforma. En el apartado 4 se resume la opinión manifestada por el GEVAL en el ejercicio de subjetividad compartida, realizado a través de 40 preguntas respondidas por los miembros del grupo.

A lo largo del documento se dan datos del sector energético nuclear español en su conjunto, incluyendo los subsectores identificados por CEIDEN (producción eléctrica, combustible nuclear, bienes de equipo y servicios e ingenierías), identificando en algunos casos los datos específicos de cada subsector.

Conviene tener en cuenta que este ejercicio APTE-2018 se refiere principalmente a los aspectos tecnológicos, aunque éstos, por conveniencia o dificultad, aparezcan en algunos casos integrados con los datos del negocio principal del sector; en realidad, lo que nos interesa es analizar el negocio tecnológico asociado al sector y, muy en particular, la posición de nuestro país en el mismo como elemento dinamizador de la economía, el empleo y el bienestar.

Como veremos, el sector nuclear (representado en este ejercicio APDTE-2018 por la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión CEIDEN) propone una visión estratégica con tres líneas básicas para su impulso y Análisis de Potencial Desarrollo a corto y medio plazo, a saber:

- Operación a largo plazo.
- Gestión del combustible irradiado
- Nuevos desarrollos nucleares

Una primera advertencia, manifestada por CEIDEN en la reunión citada, se refiere a que los nuevos desarrollos nucleares, que corresponden en gran parte a nuevos diseños de reactor nuclear para el futuro, no se han priorizado pensando básicamente en la posible implantación en nuestro país, pues la estrategia nuclear española está hoy lejos de esta posibilidad, sino que se han incluido por su gran importancia para la mejora de las centrales actuales en operación en nuestro país, al aportar técnicas e ideas que pueden implementarse en dichas centrales, mejorando ostensiblemente su eficiencia y su seguridad. Los nuevos desarrollos aportan nuevas técnicas de instrumentación y control digital, big-data, operación flexible, inteligencia artificial, etc., que, como se ha dicho, pueden mejorar nuestro parque nuclear en operación.

Por otra parte, aunque sea muy improbable que los nuevos diseños de reactores vayan a construirse en España a medio plazo, el sector nuclear español participa –y se prevé que siga participando– en los proyectos asociados a estos desarrollos.

## 1.1. Perspectiva global de la energía nuclear

Actualmente hay **453 reactores nucleares en operación** en el mundo, en 30 países, con una capacidad instalada de unos 399 GWe, que proporciona el 11,5 % de la electricidad mundial (con una generación de energía eléctrica neta en 2016 de 2.476 TWh) y evita emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por valor de 2.500 MtCO<sub>2equiv.</sub>. La energía nuclear es la principal contribuyente a la reducción de GEI del sector eléctrico.

La mayoría de las centrales nucleares están en países de la OCDE, construidas en los años 70 y 80, en los que posteriormente se han reducido notablemente los programas de nuevas instalaciones nucleares. Sin embargo, en el mundo se siguen construyendo centrales nucleares en número importante, habiéndose producido un desplazamiento estratégico de las nuevas plantas hacia el oriente, principalmente a China, India, Emiratos Árabes o Arabia Saudí.

Actualmente, hay **55 reactores nucleares en construcción** en 16 países, destacando 11 en China, 7 en India, 6 en Rusia, 5 en Corea y 4 en Emiratos Árabes Unidos. Hay también 5 reactores en construcción en la UE, 2 en Latino-América y en varios países asiáticos y del este de Europa. En su mayoría son reactores de generación III o III+, con sistemas que mejoran la seguridad y la operación respecto a la generación anterior.

La operación a largo plazo de las plantas nucleares es una realidad internacional. Gran parte de los países con energía nuclear están ampliando la vida de las centrales nucleares más allá de los 40 años. En EE.UU. casi toda la flota nuclear ha solicitado autorización para operar hasta los 60 años, habiendo alcanzado algunas unidades los 50 años de operación y existen 4 unidades que han pedido licencia de operación hasta los 80 años. Suiza, Suecia, Finlandia, Reino Unido, Francia y Holanda están operando plantas por encima de los 40 años.

La importancia de la energía nuclear para la descarbonización de la energía ha sido reconocida por multitud de informes de organismos internacionales, considerando a esta energía esencial para la transición, al menos durante el periodo necesario para desarrollar la transición, para combatir el gravísimo problema del cambio climático y proponiendo un incremento significativo del parque nuclear mundial. Entre dichos informes cabe citar: el de Euroelectric “[Decarbonization Pathways: European Power Sector, \[1\]](#)”, de noviembre de 2018, el informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático “[The IPCC 1.5 °C Special Report](#)” [2], el informe del Instituto Tecnológico de Massachussets “[The future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World](#)” de 2018 [3], etc.

**En el ámbito de la I+D+i**, los principales países, particularmente la UE, EE.UU., China, Corea y Rusia, están realizando un esfuerzo muy notable para mejorar la seguridad, la gestión de los residuos radiactivos y la economía de los reactores nucleares. Tras la segunda generación de reactores, que es la más extendida en la actualidad, se ha desarrollado una tercera generación, y una tercera generación plus, que, como se ha dicho antes, es la empleada en los reactores actualmente en construcción, y **se está trabajando para ir a la cuarta generación**. En estos desarrollos se obtiene un **aumento muy significativo de la seguridad, introduciendo elementos pasivos de actuación segura**, con el objetivo de que en ningún caso cualquier accidente tenga repercusión significativa fuera del emplazamiento de la central, **se aprovechan mucho más los recursos de material uranífero y se facilita la gestión de los residuos radiactivos**.

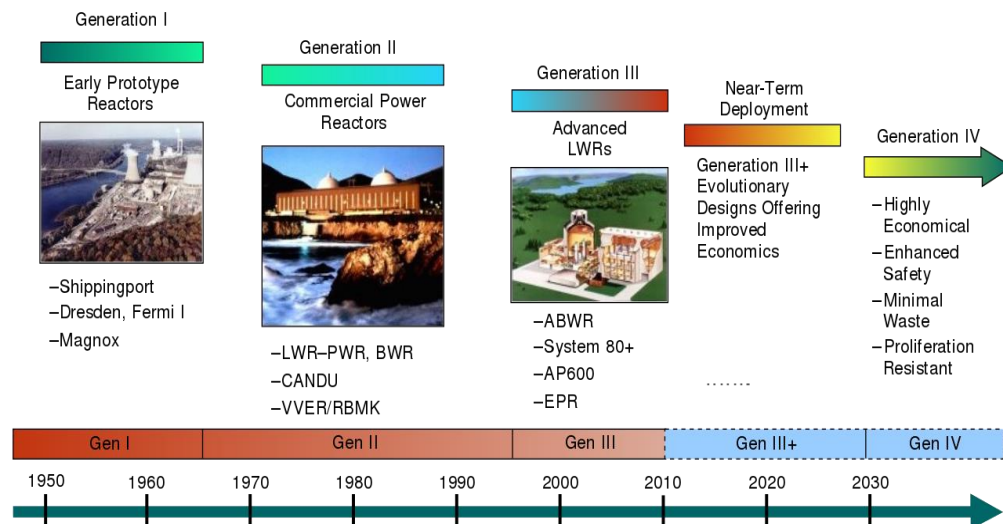


Figura 1. Evolución de la Tecnología de Fisión Nuclear planificada a 2030, con avances significativos en sostenibilidad, seguridad, fiabilidad y coste (Fuente: Wikipedia)

En paralelo con el trabajo de investigación anterior, se ha realizado un **gran esfuerzo para mejorar la seguridad de las centrales nucleares actualmente en operación**, aplicando las enseñanzas del accidente de Fukushima, que ha dado lugar a una serie de medidas que refuerzan la seguridad frente a eventos naturales catastróficos, más allá del accidente base de diseño. Esta actitud de mejora continua es la habitual en el mundo nuclear desde sus comienzos, tratando de extraer enseñanza de la experiencia operativa y, muy en particular, de los accidentes como los de Harrisburg, Chernobil y Fukushima.

## 1.2. Perspectivas de la energía nuclear en la Unión Europea

La UE es la región con más centrales nucleares del mundo, con un total de 131 reactores en operación, en 14 países, y 80 reactores parados. La generación eléctrica nuclear de estos reactores es de unos 830 TWh, un 26% del total de la generación de esta región.

Sin embargo, como se ha dicho anteriormente, la situación anterior contrasta con la escasez de nuevas construcciones en los últimos 20 años, y con las incertidumbres de algunos países sobre la continuidad de las centrales operativas. La posición de los países de la UE en el tema nuclear es diversa, dependiendo de las circunstancias de cada uno.

**Francia** tiene una política de reducción de la contribución nuclear a la generación eléctrica, para pasar de un 76 % actual a un 50 % con el objeto de reducir la dependencia de una única fuente energética, aunque recientemente se ha pospuesto su ejecución. Aun así, el país mantiene la apuesta por la energía nuclear, y tiene entre sus planes construir un número importante de nuevas plantas para sustituir a las centrales actuales, cuando lleguen al final de su vida, y para cubrir el aumento de demanda eléctrica. Actualmente tiene en construcción una nueva central nuclear (Flamanville-3), **lidera la I+D+i de la UE** y está construyendo el reactor de investigación "Jules Horowitz Reactor" (JHR), donde se llevará a cabo la investigación nuclear del futuro de dicha UE.

**El Reino Unido** está **trabajando en la reactivación de la energía nuclear**, y ha comenzado la construcción de dos unidades del reactor de tercera generación (reactor Presurizado Europeo, EPR) en el emplazamiento de Hinkley Point. Asimismo, está promoviendo el desarrollo de reactores de baja y media potencia (SMR), para los que prevé un futuro muy prometedor.

**Alemania decidió** hace años, tras el accidente de Fukushima, **un programa de cierre de sus centrales nucleares**, cuya ejecución está planteando serios problemas para cumplir los objetivos medioambientales, al haber recurrido a un aumento de la combustión de recursos fósiles, con el correspondiente aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. De hecho, ha pasado de una ratio de emisiones previstas por cada GWh generado, para el año 2016, de 370 tCO<sub>2</sub>/GWh a una ratio de emisiones reales en este año de 466 tCO<sub>2</sub>/GWh.<sup>1</sup>

En **otros países de la UE** nuclearizados hay diferentes posiciones frente a la energía nuclear. **Algunos han planteado políticas de reducción de la contribución de la energía nuclear al mix eléctrico, o de cierre gradual** de las plantas en operación, a veces condicionados por la garantía de suministro y el cumplimiento de objetivos medioambientales, mientras que otros plantean la **operación a largo plazo** de sus centrales nucleares, y **algunos apuestan por la construcción de nuevas centrales nucleares, como es el caso de Finlandia.**

Es resaltable, asimismo, la **contribución europea a la solución de la gestión definitiva de los residuos radiactivos de alta actividad**, donde se vienen realizando **importantes esfuerzos de I+D para dicha gestión**, siendo Finlandia el primer país del mundo que está construyendo un Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) para residuos radiactivos de alta actividad y larga vida. Francia y Suecia continúan llevando a cabo programas de I+D muy relevantes para el AGP, en los que han trabajado muchos años; España estuvo muy implicada también en el pasado en estas investigaciones, en las que actualmente continúa participando con mucho menos recursos, de acuerdo con las previsiones y calendario del Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR).

En resumen, **el panorama de la UE es muy diverso.** Todos los países que han desarrollado capacidades tecnológicas en el campo de la energía nuclear, incluidos los que han planteado programas de abandono progresivo de la misma, siguen presentes en el negocio tecnológico nacional o internacional, en el que existen **notables necesidades y oportunidades de desarrollo para hacer más seguras y eficientes las centrales nucleares**, aplicando nuevas tecnologías y métodos de análisis, construcción e inspección.

---

<sup>1</sup> Esto se ha debido a que el cierre de las centrales nucleares se ha compensado parcialmente con una mayor generación en base a carbón y un incremento de las energías renovables que no cubre aun la producción de energía nuclear que se interrumpió. En España, las ratios de emisiones de CO<sub>2</sub> por GWh bruto generado fueron de 267 tCO<sub>2</sub>/GWh en 2015 y de 214 tCO<sub>2</sub>/GWh en 2016



La UE es, asimismo, una de las regiones más empeñadas en el diseño y desarrollo de los reactores de generación III, III+ y IV, con un ambicioso programa para la generación IV que abarca la construcción de varios sistemas demostradores (reactor rápido ASTRID<sup>2</sup> de sodio como refrigerante, reactor rápido refrigerado por plomo (MYRRHA<sup>3</sup> y ALFRED<sup>4</sup>), reactor rápido de gas ALLEGRO), en los que está involucrada la Plataforma Tecnológica Europea de la Energía Nuclear Sostenible (SNETP).

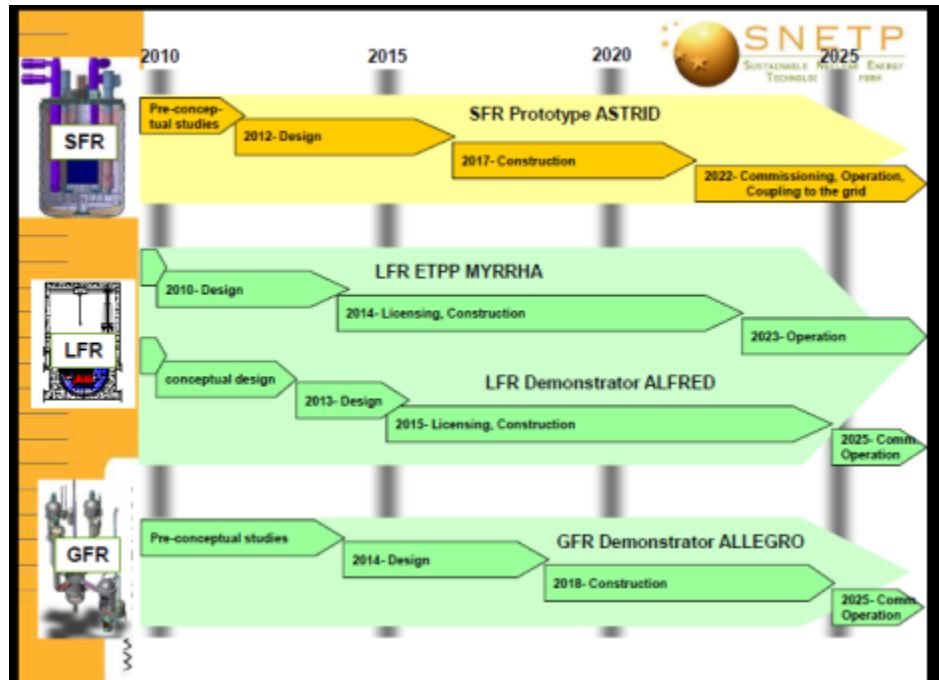


Figura 2. Plan de Implementación Iniciativa de la Industria Nuclear Sostenible Europea (Fuente: SNETP)<sup>5</sup>

Por último, cabe destacar en el ámbito de la UE que, pese a que el futuro de la energía nuclear es un asunto en continuo debate en las instituciones comunitarias, en todos los documentos estratégicos y **en todos los programas de apoyo a la I+D+i en la UE los aspectos asociados a la energía nuclear han tenido y siguen teniendo cabida**, lo cual supone un respaldo y una oportunidad para continuar desarrollando líneas de trabajo y proyectos de interés en esta área.

<sup>2</sup> ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration)

<sup>3</sup> MYRRHA (Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications)

<sup>4</sup> ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator)

<sup>5</sup> (GFR): Gas-cooled fast reactor; (SFR): Sodium-cooled fast reactor; (LFR): Lead-cooled fast reactor

### 1.3. La energía nuclear en España

**España tiene 7 centrales nucleares en operación**, en 5 emplazamientos, con **una potencia total instalada de 7,4 GWe**, un 7,2 % de la potencia eléctrica total instalada en el país, **que producen unos 58 TWh/año**, en **torno al 21,5 % de la producción eléctrica total**, porcentaje este último similar al de la producción de los aerogeneradores.

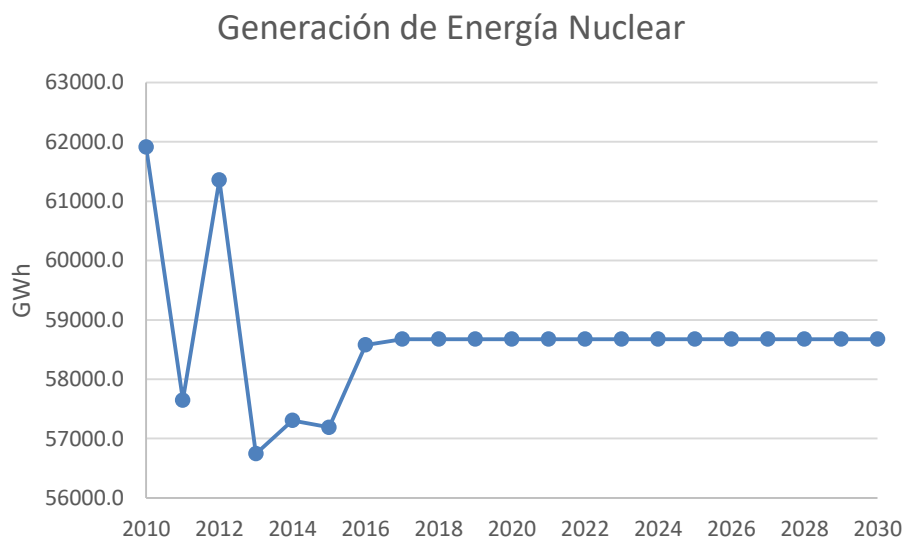


Figura 3. Energía Nuclear Generada, transferida o gestionada anualmente en España. (Datos y estimación. fuente CEIDEN)

**Las centrales nucleares españolas, con unas emisiones muy bajas en todo su ciclo de vida<sup>6</sup>, contribuyen muy significativamente a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, en una cantidad anual de entre 30 y 40 MtCO<sub>2equiv</sub><sup>6,7</sup>.**

Estas **centrales** son, asimismo, **importantes** porque **aportan una potencia firme, con máquinas síncronas que son esenciales para la estabilidad y el control de la frecuencia de la red eléctrica.**

**Las centrales nucleares actuales aportan una energía de base de coste bajo**, que ofertan, junto a las energías renovables, a precio cero en el mercado eléctrico liberalizado, contribuyendo, por ello, a rebajar el coste de la electricidad.

<sup>6</sup> Dependiendo del mix de generación alternativo para sustituir su producción de electricidad. Las emisiones de CO<sub>2</sub> ponderadas sobre la vida de una central nuclear son de unos **12gCO<sub>2</sub>/KWh**. CEIDEN atribuye estas emisiones a las distintas fases del ciclo de vida de las centrales nucleares: 14% a los procesos iniciales; un 78% a los procesos operacionales y un 8% a los procesos finales

<sup>7</sup> equivalentes a las emisiones de unos 15 millones de automóviles.

**Contribuyen**, además, estas centrales, **a la garantía de suministro**, pues **el combustible nuclear** tiene un mercado geográficamente muy diversificado y, **por su pequeño tamaño y bajo coste, es relativamente fácil disponer un “stock” que garantice el funcionamiento durante varios años.**

**El sector nuclear español es muy sólido, con un alto nivel tecnológico y gran competencia para gestionar el parque nuclear de forma segura y competitiva**, gestionar los residuos radiactivos resultantes de la operación de las centrales y realizar el desmantelamiento de las plantas, así como para mantener una presencia relevante en el mercado tecnológico internacional. Este sector incluye, además de la empresas eléctricas, propietarias y explotadoras de las centrales, una empresa pública para la fabricación de elementos combustibles y suministro de uranio (ENUSA), una empresa pública para la gestión de los residuos radiactivos y realización de los desmantelamientos de las instalaciones nucleares (ENRESA), una empresa pública para la fabricación de componentes nucleares de la barrera de presión del primario de las centrales nucleares y contenedores de elementos combustibles irradiados (ENSA), varios fabricantes de componentes mecánicos y eléctricos, compañías de ingeniería, compañías de servicios técnicos, como TECNATOM y varias de protección radiológica y garantía de calidad, centros de investigación, entre los que destaca el CIEMAT, universidades con gran conocimiento de la ciencia nuclear y un organismo regulador (CSN) de muy alta cualificación y prestigio internacional.

El conjunto anterior tiene una alta valoración internacional, obteniendo contratos comerciales relevantes en el exterior y proyectos de I+D del programa de Euratom. Como ejemplo, cabe citar que ENUSA tiene una cartera de pedidos exterior en torno al 40 % de sus ventas, ENSA mantiene una cartera importante en el exterior para la fabricación de componentes nucleares, TECNATOM exporta alta tecnología para la inspección de componentes y la simulación, las ingenierías Empresarios Agrupados, IDOM y Westinghouse-España están presentes en varios proyectos nucleares internacionales y en grandes instalaciones de investigación.

**En el campo de la I+D+i**, el sector ha tenido y tiene un mecanismo de coordinación a nivel nacional, actualmente gestionado por la Plataforma Tecnológica CEIDEN, que realiza y mantiene actualizada una estrategia tecnológica para nuestro país, promueve actividades de formación y capacitación, mantiene un inventario de capacidades de investigación (grupos de I+D e infraestructuras científicas), coordina la investigación nacional e internacional en el seno de la UE, y promueve la colaboración entre sus socios para realizar una I+D+i eficaz y eficiente para nuestros intereses.



Figura 4. Desarrollos e instrumentos para afianzar el posicionamiento del sector en I+D+i desde CEIDEN

**En la situación actual, es difícil predecir el futuro de la energía nuclear en nuestro país. No es verosímil que se pueda abordar la construcción de nuevas centrales a medio plazo**, debiendo, por tanto, descartarse esta posibilidad. **Por otra parte, hay una alta incertidumbre sobre la fecha de cierre de las centrales nucleares en operación**; ello, aunque la operación a largo plazo está resuelta a nivel tecnológico hasta, al menos, los 60 años, y en España existe un alto nivel de conocimiento y capacidades para abordar este tema desde el punto de vista técnico.

**Desde la perspectiva de CEIDEN, se considera un escenario razonable el de extensión de vida de las centrales nucleares hasta al menos 50 años.** Sobre esta posición insiste la Comisión de Expertos de Transición Energética, puesta en marcha por el Gobierno, en [su informe de abril de 2018](#), en el que se reconoce, a través del análisis de varios escenarios, la necesidad de mantener la aportación de la energía nuclear, al menos durante una parte importante de la transición energética hasta un sistema neutro en CO<sub>2</sub> a alcanzar en 2050.

Las incertidumbres en el sector nuclear español también se extienden a la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad y larga vida. El último Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) contempla para estos residuos la construcción de un Almacenamiento Temporal Centralizado (ATC) y, a largo plazo, un Almacenamiento Geológico Profundo (AGP) para su gestión definitiva, así como la evaluación de opciones para la reducción del volumen y riesgo de estos residuos antes de su almacenamiento definitivo.

Actualmente **se ha paralizado la construcción del ATC**, en el que se llevan invertidos varias decenas de M€, para su reconsideración en un nuevo PGRR, en el que se decidirá si este proyecto continúa, si lo hace en el emplazamiento actual o en otro, o si se sustituye por varios Almacenamientos Temporales Individualizados (ATIs) en cada uno de los emplazamientos de las centrales nucleares, solución esta última que, para lograr una seguridad y calidad equivalentes a las del ATC, es mucho más costosa. Sería deseable una decisión sobre este asunto cuanto antes, considerando criterios económicos y técnicos, y asegurando la financiación correspondiente, lo que podría abundar en la conveniencia de prolongar la vida de las centrales nucleares para garantizar la financiación de la gestión de residuos.

### Proyecto de almacén temporal centralizado (ATC)

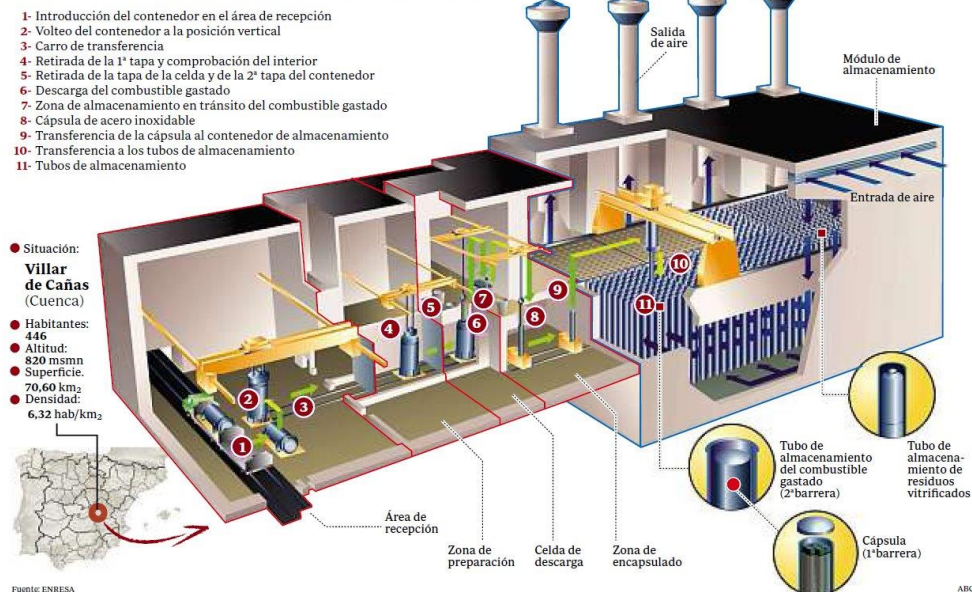


Figura 5. Proyecto de Almacén Temporal Centralizado (Fuente: Consejo de Seguridad Nuclear & ABC)

En cuanto al AGP, ENRESA mantuvo en los años 80 y 90 un importante programa de I+D para su desarrollo, acompañando a otros países europeos involucrados en esta instalación, como Francia, Suecia y Suiza, pero este programa se abandonó en nuestro país a finales de los 90, reduciéndose a unos pocos proyectos de menor tamaño que está llevando a cabo el CIEMAT, dentro del Programa Marco de la UE. Sería deseable retomar esta línea de investigación, aprovechando los esfuerzos actuales de los países de la UE, pues esta solución es la única que resuelve definitivamente el problema.

#### 1.4. Argumentos básicos para apoyar el despliegue de la Energía Nuclear de Fisión.

El sector nuclear presenta unas fortalezas que lo sitúan en una posición relevante en el panorama nacional e internacional. Algunas de estas fortalezas son las siguientes:

- a) No emisión de gases de efecto invernadero
- b) En función de la significativa capacidad instalada, la energía nuclear en España evita la emisión de entre 30 y 40 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales a la atmósfera (es decir, evita en torno al 10% de las emisiones de CO<sub>2</sub> actuales<sup>8</sup>)
- c) La energía nuclear proporciona inercia síncrona firme a la red
- d) La energía nuclear aporta garantía de suministro al sistema
- e) Generan energía eléctrica a bajo coste
- f) Prioridad en la seguridad nuclear y mejora continua
- g) Internacionalización de todo el sector
- h) Clara identificación de los retos tecnológicos e iniciativas tecnológicas prioritarias del sector
- i) Carácter transversal de los retos, que permiten sinergias con otros sectores (ej. Materiales)
- j) Coordinación sectorial eficiente, en cuanto a I+D+i y desarrollo tecnológico, por parte de la plataforma tecnológica CEIDEN

#### 1.5. Potencialidades frente a una Transición Energética con Descarbonización de la Economía de la Energía Nuclear de Fisión

La energía nuclear contribuye de forma relevante a los objetivos energéticos y medioambientales, al tratarse de una tecnología no emisora de CO<sub>2</sub>. El sector nuclear español evita aproximadamente 40 MtCO<sub>2</sub><sup>9</sup>, representando el 40 % de la generación eléctrica exenta de carbono.

<sup>8</sup> España emitió 338,8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en 2017

<sup>9</sup> Dependiendo del mix de generación alternativo para sustituir su producción de electricidad.

Aun cuando la consecución de los objetivos de descarbonización asociados a la **transición energética** que España ha suscrito implique la instalación y uso masivo de tecnologías renovables, **el parque nuclear constituye un activo estratégico en el sistema eléctrico español**, entre otras razones porque las tecnologías renovables necesitan disponer de energía de respaldo y/o almacenamiento, además de aportación de generación síncrona para la estabilidad de la red eléctrica, necesidad ésta que se acrecentará y se hará más patente a medida que aumente el porcentaje de participación de estas energías en la generación eléctrica.

**A corto plazo no es posible prescindir del parque nuclear sin un plan de transición** que tenga en cuenta que se puede poner en riesgo la seguridad y estabilidad de suministro, agravarse la dependencia energética del exterior, aumentarse el precio de la generación eléctrica o incrementarse las emisiones de CO<sub>2</sub>. A medio plazo, **su sustitución por tecnologías renovables y capacidad de almacenamiento** a gran escala requeriría de una inversión muy significativa.

Desde la perspectiva de CEIDEN, **se considera un escenario razonable el de extensión de vida de las centrales nucleares**, manteniendo las condiciones de seguridad, hasta al menos 50 años.

Por otra parte, en cualquier caso, seguiría necesitando un sector nuclear fuerte para acometer la necesaria gestión y cuidado de los residuos radiactivos y los desmantelamientos de las centrales nucleares con seguridad y eficacia.

## 1.6. Tipos de Apoyo que reivindica el sector de la Energía Nuclear de Fisión

**La producción de origen nuclear a nivel global es, hoy por hoy, parte ineludible del mix energético** en la transición hacia un horizonte de una sociedad y una economía sostenibles. Los países con potencia nuclear instalada deben considerar la importancia de esta energía en sus planes de transición hacia una energía sostenible, teniendo en cuenta todas las posibilidades, entre las que se encuentra la extensión de vida y la necesidad de disponer de potencia firme.

España no puede ser ajena a esta situación, lo que hace muy conveniente **propiciar la viabilidad económico-financiera de nuestras centrales nucleares** durante el tiempo en que se verifique la transición energética, destacando el papel de la energía nuclear como mejor **manera de transitar de forma eficiente, ordenada, fiable y competitiva hacia un modelo descarbonizado** y fundamentalmente renovable, por la complementariedad de ambas tecnologías.

No obstante, el sector presenta **barreras importantes para su desarrollo**, como se indica en la tabla adjunta, para cuya superación **necesita la ayuda del Gobierno**, del parlamento y del CSN.

barrera	solución
aceptación social	<ul style="list-style-type: none"> <li>grupo de estudios sociotécnicos</li> <li>difundir y explicar mejor ventajas de la energía nuclear</li> <li>difundir el reconocimiento internacional de la seguridad nuclear en España</li> </ul>
incertidumbre política: dificultades para planificar a largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>resiliencia del sector: capacidad para adaptarse a escenarios cambiantes</li> <li>internacionalización del sector</li> </ul>
costes: construcción / operación y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>reducir costes: reto y oportunidad para la I+D+i</li> <li>estandarización de diseños y procesos de licenciamiento → reducción de costes y tiempo de construcción y puesta en marcha</li> </ul>
aprobación reguladora de métodos y diseños innovadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>cooperación industria – regulador</li> <li>cooperación internacional (p.e., NUGENIA)</li> </ul>
financiación de proyectos I+D	<ul style="list-style-type: none"> <li>“autosuficiencia” económica del sector nuclear (entre 70 y 80 %)</li> <li>I+D nuclear altamente colaborativa (compartir costes de la I+D)</li> <li>disponibilidad de instrumentos de ayudas a financiación y gestión</li> </ul>
asegurar relevo generacional atraer talentos al sector	<ul style="list-style-type: none"> <li>gestión del conocimiento: grupo KEEP+</li> <li>creación de cátedras / apoyo a masters / ...</li> </ul>

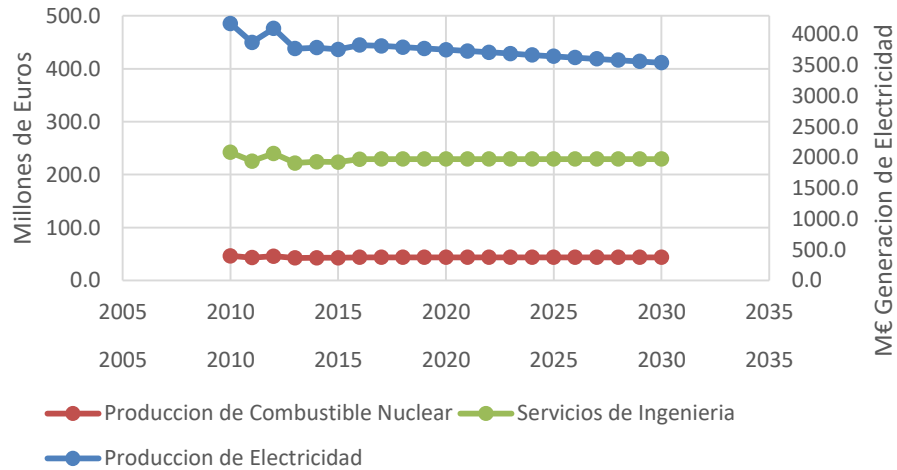
## 2. POSICIONAMIENTO Y PERSPECTIVAS SOCIOECONÓMICAS DE LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

### 2.1. Economía y Empleo

El sector nuclear español contribuye de forma relevante al PIB nacional, con 3.000 M€, y ha desarrollado tecnología en toda la cadena de valor del sector: en la construcción de centrales nucleares, cuya contribución nacional alcanzó el 80 % de la inversión en las últimas centrales, en la operación y mantenimiento de las mismas, y en todo el ciclo del combustible nuclear (desde la minería hasta la gestión del combustible gastado), el desmantelamiento y la gestión de residuos radiactivos.



### Mercado español de energía Nuclear



### Exportaciones Sector Energía Nuclear

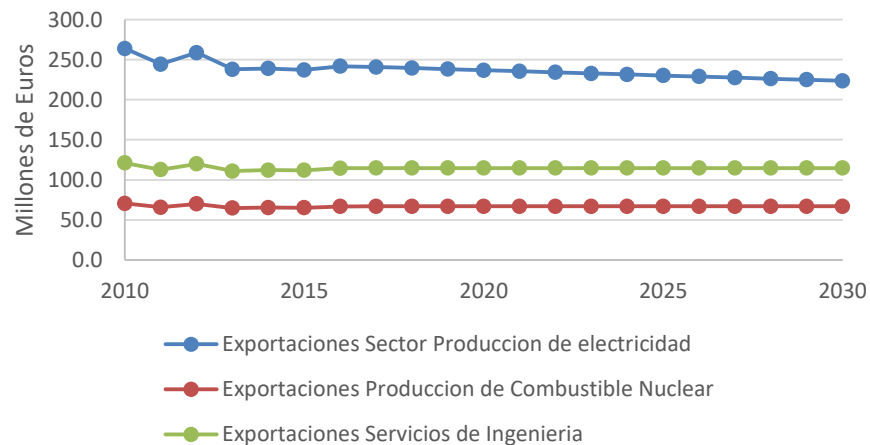


Figura 6. Mercado Español de Energía Nuclear (arriba) y Exportaciones del sector (abajo). (fuente: CEIDEN)

El conocimiento adquirido, **gracias a acertados esfuerzos de innovación basados en la I+D, ha permitido al sector competir con éxito en mercados internacionales, con un volumen de exportación en torno a los 400 M€, en combustible nuclear, bienes de equipo, sistemas de inspección y control, servicios de ingeniería y asistencia técnica.**

El empleo del sector es del orden de 9.000 empleados directos y 16.000 indirectos, en su mayoría de alta cualificación (un 50 % de titulados superiores).

### Generación de Empleo en el Sector Nuclear

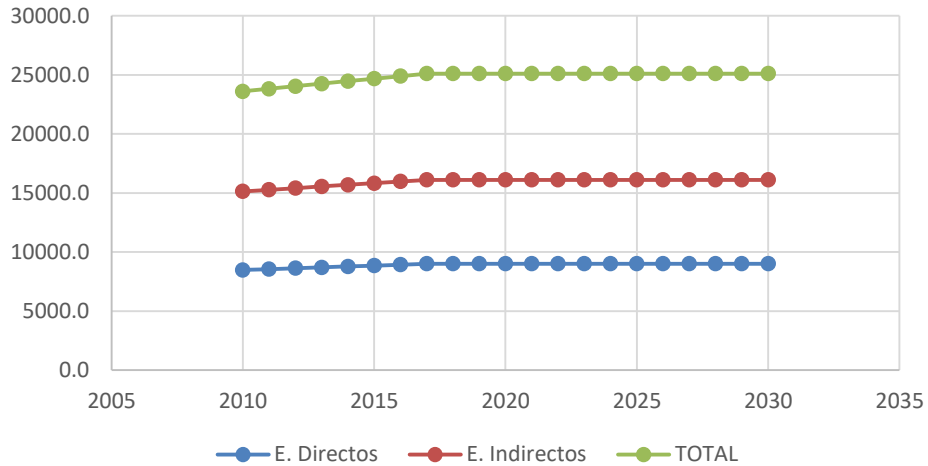


Figura 7. Generación de empleo con estimación a 2030 en el sector de la Energía Nuclear de Fisión. (fuente CEIDEN)

El coste de la electricidad nuclear de una nueva central, con una potencia de unos 1.000 MWe, es de unos 64 €/MWh, con expectativas de reducción hasta 60 €/MWh en 2030, considerando un coste de inversión de unos 5.000 €/kWe y una vida de 40 años. Este coste incluye la amortización, el combustible y la operación y mantenimiento. Si añadimos el coste de desmantelamiento y gestión de residuos radiactivos, debemos sumar unos 12 €/MWh, dando lugar a un coste total nivelado entre 76 y 72 €/MWh. Este coste es significativamente menor en las plantas actuales en operación, en la medida en que presentan un alto nivel de amortización, especialmente si se alarga su vida.

### Coste de la Electricidad Nuclear

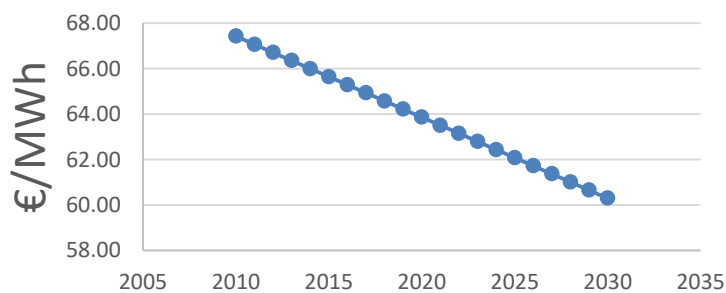


Figura 8. Coste de la Electricidad nuclear y estimación a 2030 (fuente CEIDEN)

**A la hora de comparar este coste con el de las energías renovables intermitentes, debe considerarse que éstas necesitan disponer de energía de respaldo y/o almacenamiento, además de aportación de generación síncrona para la estabilidad de la red eléctrica, necesidad ésta que se acrecentará y se hará más patente a medida que aumente el porcentaje de participación de estas energías en la generación eléctrica.**

## 2.2. Capacidad en ciencia, tecnología e innovación

España tiene importantes capacidades de I+D+i en el campo nuclear, con numerosos grupos universitarios, centros de investigación, empresas públicas y empresas privadas, que atienden las necesidades de desarrollo tecnológico en los campos de producción eléctrica, fabricación de combustible nuclear, gestión de residuos radiactivos, protección radiológica y bienes de equipo.

Al tener nuestro país **3 empresas tecnológicas entre las 20 primeras de la UE (ENSA, ENUSA, TECNATOM)**, resulta necesario mantener un alto nivel de desarrollo para ofrecer nuevos productos con la tecnología más actualizada, lo que conlleva disponer de grupos de investigación con altos conocimientos y experiencia. Por otra parte, la **explotación segura y eficiente de las centrales nucleares exige una labor continua de investigación** para incorporar las últimas tecnologías. Asimismo, **la gestión de los residuos nucleares que se producen en el país necesita tecnologías novedosas que debe desarrollar el país.**

En general, el nivel tecnológico de los diferentes subsectores es variable, con un **TRL entre 7 y 9**, con algunos campos de investigación de base en física nuclear, tecnologías de gestión de residuos y protección radiológica, en los que se trabaja en ámbitos de TRL más bajos.

De acuerdo con los datos suministrados por CEIDEN, hay en el **país 537 trabajadores dedicados a investigación y desarrollo nuclear, en 15 centros de investigación.** Existen, asimismo, 2 centros de homologación y certificación.

Los **recursos económicos dedicados a investigación nuclear alcanzan el valor de unos 44 M€/año**, de los cuales el 76 % son fondos propios de las entidades del sector y el 24 % son fondos exteriores, nacionales, europeos e internacionales. Las inversiones se realizan en un 23 % en entidades de I+D, destacando CIEMAT, en un 21 % en empresas del ciclo del combustible, en un 19 % en empresas eléctricas, en un 13 % en empresas de servicios, y el resto en empresas de ingeniería, empresas de bienes de equipo, universidades y otras instituciones.

Algunos de los proyectos de I+D actuales de mayor envergadura son los siguientes:

- Proyecto Jules-Horowitz. Contribución española al diseño y construcción del nuevo reactor nuclear experimental en construcción en Francia.
- Proyectos JASMIN y SFR-SMART de Euratom, para la mejora de la seguridad nuclear.
- Varios proyectos internacionales de investigación básica sobre las propiedades del combustible nuclear irradiado.
- Desarrollo de capacidades de caracterización de barras de combustible pre-oxidadas e ingeniería asociada.
- Desarrollo de un gamma scanner para el control de enriquecimiento del combustible nuclear.
- Comportamiento del combustible irradiado en almacenamiento en seco.
- Almacenamiento nuclear seguro ante terremotos.

### 3. RETOS DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO

#### 3.1. Retos de I+D+i en Energía Nuclear de Fisión

El sector nuclear español tiene una estrategia tecnológica bien definida y consensuada en el seno de CEIDEN, basada en tres retos tecnológicos:

- RT1. Operación segura a largo plazo del parque nuclear español.
- RT2. Gestión del combustible irradiado y residuos.
- RT3. Nuevas tecnologías/proyectos. Utilización de las nuevas tecnologías en diseños ya maduros, y participación y adquisición de know-how en nuevos proyectos nucleares internacionales



Figura 9. Retos Tecnológicos del Sector Nuclear de Fisión en España (fuente CEIDEN)

Una breve descripción de estos retos se incluye a continuación.

### 3.1.1. “RT1. Operación a largo plazo”

Como en la mayoría de los países con energía nuclear, el sector nuclear español mantiene un programa de I+D para soporte tecnológico de la eventual extensión de vida de las centrales nucleares, que CEIDEN considera de gran interés para nuestro país.

El programa citado tiene como objetivo conseguir la operación segura, fiable y eficiente de las centrales nucleares en el largo plazo, ya que, aunque existe una amplia experiencia internacional, principalmente en EE.UU., sobre el alargamiento de vida, es necesario llevar a cabo un ambicioso programa de I+D para abordar este reto, particularmente en estudios de materiales, gestión de vida de equipos, sistemas y estructuras, etc.

En España hay experiencia en este campo, en la central nuclear de Santa María de Garoña, que operó más allá de los 40 años. Asimismo, el desmantelamiento de la central nuclear de José Cabrera (Zorita) ha dado lugar a varios proyectos de I+D, con gran interés internacional, como el análisis del comportamiento de los internos de la vasija del reactor y de hormigones estructurales, sometidos durante 40 años a alta irradiación y alta temperatura.

Se da así cumplimiento a la resolución del Congreso de los Diputados de 2014: “...promover, a través del Consejo de Seguridad Nuclear ensayos de I+D entre centrales, universidades y centros tecnológicos para mejor conocimiento del comportamiento de fenómenos de degradación no previstos inicialmente”. En respuesta a este requerimiento, se constituyó en CEIDEN un grupo de trabajo sobre degradación de materiales, que emitió un informe en 2017, analizando los fenómenos de degradación y el estado de conocimiento sobre medidas de control, mitigación y vigilancia aplicables.

### 3.1.2. “RT2. Gestión del combustible irradiado y residuos”

El combustible gastado se almacena inicialmente en las piscinas de las centrales nucleares y cuando éstas se saturan, y una vez se ha reducido suficientemente su potencia calorífica, se traslada a un Almacén Temporal Individualizado (ATI), construido en el emplazamiento de la central nuclear, o eventualmente al almacenamiento temporal centralizado.

En el actual PGRR, aprobado en 2006, se contempla la construcción del Almacén Temporal Centralizado (ATC) para todo el combustible del parque nuclear, que permita tener los elementos combustibles en condiciones seguras durante un periodo de varias decenas de años, hasta que se disponga la solución definitiva en un Almacenamiento Geológico Profundo (AGP). El ATC es una pieza clave en la gestión del combustible irradiado, aportando una solución segura y económica hasta que se pueda utilizar el AGP; los ATIs constituyen una solución temporal que requiere más recursos y presenta retos específicos de difícil solución para gestionar con seguridad los elementos combustibles que puedan deteriorarse.

ENRESA mantiene un importante programa de I+D para desarrollar las mejores soluciones en la gestión temporal y definitiva del combustible irradiado y residuos de alta actividad, con la colaboración principal del CIEMAT y de grupos universitarios. Este programa está actualmente más dedicado al almacenamiento temporal en seco, atendiendo así las necesidades de los ATIs y ATC, basados en instalaciones de almacenamiento en contenedores (ATIs) y en la instalación tipo bóveda refrigerada por aire en circulación natural (ATC).

En octubre de 2018 la misión IRRS-ARTEMIS realizada por un equipo internacional coordinado por la Organización Internacional de Energía Atómica, ha reconocido la solvencia técnica alcanzada por España en materia de gestión de residuos radiactivos y combustible gastado, en especial la demostrada en el diseño del ATC y ha instado al Gobierno a actualizar las estrategias de gestión de residuos radiactivos; y en especial a ENRESA para que asegure el mantenimiento del know-how y adecuadas inversiones en I+D asociada al AGP.

### 3.1.3. “RT3. Nuevas tecnologías / nuevos proyectos”

El objetivo principal de esta línea de investigación es dar soporte tecnológico a la eventual extensión de vida de las centrales nucleares en operación, así como aplicar a estas centrales nuevas tecnologías que mejoren su seguridad y operación.

Realmente, la actualización tecnológica ha tenido lugar de forma continua desde el inicio de la operación de las centrales. Sin embargo, existen actualmente, dentro de los programas de I+D de los países nucleares, innovaciones de gran importancia que es conveniente conocer y aplicar a nuestro parque nuclear, siempre con la autorización del CSN. Estas innovaciones se refieren, entre otras, a instrumentación y control, big data, nuevos materiales como el grafeno y otros, operación flexible de las plantas, monitorización digital y tecnologías “wireless”, inteligencia artificial, etc.

Aunque en España no se prevé en el corto y medio plazo la construcción de nuevas plantas nucleares, existen importantes programas en el mundo para realizar nuevas construcciones, con nuevos conceptos de reactor cada vez más mejorados mediante la I+D+i, y en cuyo diseño y construcción participan empresas e instituciones españolas.

Además del objetivo principal anterior, esta línea tiene un segundo objetivo, que tiene que ver con el apoyo tecnológico a las empresas españolas del sector nuclear que han internacionalizado sus actividades, participando activamente en el diseño de nuevos reactores y en sus proyectos de construcción, no solo en los reactores de generación III y III+, sino también en los de generación IV del futuro, de los que se ha hablado en el apartado 1.2. De hecho, el desarrollo del reactor AP-1000 de Westinghouse se ha realizado parcialmente por un equipo de ingeniería en España.

## 3.2. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs) Identificadas por CEIDEN

En respuesta a la petición de ALINNE, CEIDEN ha identificado las mejores Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs)<sup>10</sup>, dentro de las líneas estratégicas citadas anteriormente, proponiendo las siguientes:

### **“RT1. Operación a largo plazo” y “RT3. Nuevas tecnologías aplicables al alargamiento de vida de las centrales nucleares”:**

#### 1.1. Operación flexible de las centrales nucleares españolas.

El diseño original de las centrales españolas estaba pensado para su operación en base. Sin embargo, debido a la introducción de energías renovables en el mercado (por ejemplo, en determinados Estados de EE.UU), o por el alto porcentaje nuclear que cubre la demanda (por ejemplo en Francia), se ha hecho necesario el desarrollo de tecnologías que permitan operar el parque nuclear de forma flexible, adaptándose a la evolución horaria de la demanda. Ante la eventualidad de extensión de vida de las centrales nucleares y un fuerte crecimiento de las energías renovables en nuestro país, esta ITP cobra un gran interés

#### 1.2. Análisis predictivo de las centrales nucleares españolas.

Esta ITP pretende la monitorización continua de los sistemas de las plantas, mejorando rendimientos y optimizando recursos, de acuerdo con los principios tecnológicos de la industria 4.0 y Big Data.

### **“RT2. Gestión del combustible irradiado y residuos”**

#### 2.1. Combustible con alta resistencia a accidentes.

El objetivo de esta ITP es dotar a las centrales nucleares españolas de combustible de alta resistencia a accidentes, que además permite una mayor eficiencia en la utilización del combustible nuclear, participando en los esfuerzos internacionales en esta materia. Con este combustible se pretende que cualquier incidente que provoque degradación del combustible nuclear quede limitado al interior de la vaina metálica.

#### 2.2 Proyectos estratégicos para la optimización del ATC

Se incluyen en esta ITP 5 proyectos estratégicos que permitirán obtener una solución optimizada del ATC:

---

<sup>10</sup> Las Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs) se definen como “aquellos desarrollos tecnológicos de gran calado que permitan a la industria española, en un horizonte temporal no excesivamente lejano, desarrollar tejido industrial y cubrir una cuota de mercado tecnológico nacional y/o internacional que, por su retorno económico y de otros tangibles e intangibles de alto valor intrínseco (empleo, sostenibilidad en sentido amplio, etc), le supongan a España unos beneficios tales que justifiquen una dedicación focalizada y sostenida hacia las mismas en recursos económicos y capital humano, así como el desarrollo y aseguramiento de un marco favorable para su implantación”. Para la definición de las ITPs, debe realizarse un informe que responda a las cuestiones de la figura anterior, dando coherencia así a las propuestas

2.2.1 Modelo hidrogeológico detallado del emplazamiento

2.2.2 Estimación de la vida útil y monitorización de la estructura de hormigón armado

2.2.3 Gestión de la vida de los pozos de almacenamiento

2.2.4 Corte de la tapa soldada de los contenedores en ambiente de alta radiación

2.2.5 caracterización de propiedades del combustible BWR irradiado en relación al almacenamiento y transporte

### **3.3. Disponibilidad de recursos financieros e instrumentos para el desarrollo tecnológico**

El Plan Nacional de Investigación reconoce a la energía nuclear entre las tecnologías susceptibles de apoyo, financiando principalmente a los centros de investigación y universidades, a través de proyectos competitivos, para realizar una investigación más de base. Esta ayuda se complementa con la del Programa Marco de la UE que, a través de EURATOM, financia un número importante de proyectos de investigación y desarrollo sobre seguridad nuclear, operación de reactores, física nuclear, gestión de residuos radiactivos y protección radiológica. El sector nuclear español obtiene por estas vías una aportación estimada entre 2 y 3,5 M€ anuales. Un ejemplo de proyecto de subvención de la UE es el CHANDA, coordinado por CIEMAT, en el que hay más de 35 instituciones europeas participantes y están involucradas más de 15 instalaciones experimentales de la UE, para la determinación de secciones eficaces de actínidos de utilización en reactores en operación y de nueva construcción de las generaciones III, III+ y IV.

El sector nuclear cuenta también con algunas ayudas del CDTI a las empresas para el desarrollo de nuevos productos innovadores, como por ejemplo sistemas para la monitorización del enriquecimiento de pastillas de combustible, técnicas de restauración minera, etc.

Es fundamentalmente la financiación interna del sector la que alimenta los proyectos de I+D de la estrategia tecnológica de CEIDEN, citada anteriormente. Dentro de esta financiación interna, que representa un 76 % de la inversión total en I+D, que como se ha dicho es del orden de 44 M€/año, del orden de 10 M€/año son aportados por centros públicos de I+D y universidades, principalmente por el CIEMAT. En cualquier caso, el sector sigue necesitando las ayudas externas para la financiación de sus proyectos de I+D y aspira a incrementar la obtención de dichas ayudas.



## 4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL GEVAL

El ejercicio de subjetividad compartida de la tecnología nuclear, realizado por el GEVAL, cuyos resultados detallados se incluyen en el Apéndice III, se resume a continuación.

### “Posicionamiento de la tecnología en España”

El 72 % de los participantes en el ejercicio opina que la industria española tiene un amplio e interesante nicho de mercado, en cuanto al diseño y fabricación de los principales componentes que necesita el sector nuclear.

En España se ha generado en los últimos 10 años un tejido empresarial que tiene un mercado tecnológico superior a 500 M€/año, para el que hay gran número de empresas, superior a 10, que captan la mayoría del mercado interior, confiando el GEVAL en que esta captura se mantenga en el futuro.

Hay unanimidad en que las empresas españolas son capaces de dar respuesta a los desarrollos tecnológicos necesarios, en el corto y medio plazo, para mejorar la seguridad y operación de las centrales nucleares y para la gestión de los residuos radiactivos, no previendo una creación significativa de nuevas empresas ni a corto (2022) ni a largo plazo (2022-2030).

En cuanto a la captura del mercado tecnológico internacional por las empresas españolas, se manifiesta cierta ambigüedad sobre la cuota de estas empresas, ya que se considera superior al 10 % (entre 10% y 33 %) a corto plazo, mientras que a largo plazo (2022-2030) se considera inferior al 10%. Tras algunas discusiones, parece que lo razonable es pensar que las empresas españolas captan menos del 10 % del mercado internacional, que es muy grande, lo cual no desmerece el alto valor tecnológico y comercial de nuestra industria.

La mayoría del GEVAL opina que la tecnología nuclear merece un mayor apoyo en políticas públicas, a través de proyectos de desarrollo tecnológico de colaboración público-privada, en los que la financiación privada debe ser mayoritaria.

El mercado tecnológico de mayor interés para la industria española se localiza principalmente en Asia, Europa, Oriente Medio y África, tanto a corto (2022) como a medio plazo (2022-2030), siendo también estas regiones las preferentes para crear alianzas estratégicas con sus países para conseguir el mercado previsto y llevar a cabo la innovación necesaria.

### “Valor intrínseco de la tecnología”

Con reservas sobre la evolución de la energía nuclear en nuestro país, el GEVAL considera que la tecnología nuclear merece concentrar un mayor esfuerzo inversor y el apoyo de otras políticas y generación de normativa e instrumentos para que nuestro país consiga una ventaja competitiva. Sin embargo, se considera que dicha tecnología no debe tener más recursos públicos para la innovación que otras que puedan encontrarse en un nivel de desarrollo más bajo y necesiten entrar en el mercado lo antes posible.

Hay unanimidad en considerar la aceptación social como un reto importante para el sector nuclear, considerándose dudosa su superación. Para intentar mejora esta aceptación se confía más en la información al público y, en menor medida, en la normativa y legislación.

CEIDEN ha identificado las barreras regulatorias a reformar para mejorar la implantación industrial, aunque GEVAL no considera factible que la reforma se realice a corto plazo.

La Plataforma Tecnológica tiene, asimismo, clara y bien definida su estrategia tecnológica, particularmente los proyectos de demostración necesarios, para los que debe recabarse la colaboración internacional, aunque no existe un estudio de financiación detallado.

#### **“Base de I+D+i en España”**

España tiene una base sólida de investigación nuclear, competitiva a nivel internacional, para asegurar niveles de eficiencia y eficacia en la consecución de los objetivos estratégicos, materializada en centros de investigación, grupos universitarios y empresas, así como en relevantes infraestructuras de I+D, disponiendo de una buena estructura de colaboración entre las instituciones anteriores auspiciada por CEIDEN.

El sistema de I+D nuclear recoge adecuadamente las áreas de homologación y certificación necesarias.

El apoyo público recibido para el desarrollo tecnológico del sector nuclear ha sido de carácter general, no existiendo líneas específicas prioritarias, más allá de las que llevan a cabo los centros públicos de investigación, sobre todo CIEMAT, financiados por la Administración.

En general, la valoración internacional de los centros de I+D españoles en energía nuclear, y de sus proyectos, es alta.

#### **“Penetración de la tecnología en el mercado”**

El GEVAL considera, unánimemente, que la capacidad de transferencia de conocimiento desde la ciencia a la tecnología y al mercado es aceptable, aunque se requerirá un largo periodo y una planificación estratégica persistente para la penetración de los nuevos desarrollos tecnológicos en el mercado.

CEIDEN ha definido, a requerimiento de ALINNE, con rigor, sus Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs), aunque sin detallar, por su dificultad, el mecanismo financiero para llevarlas a cabo.

Finalmente, se considera que la tecnología nuclear es clave para la transición energética, otorgándole un papel de apoyo coyuntural a la misma.

#### 4.1. Conclusiones del GEVAL

Sin olvidar las incertidumbres que pesan sobre la energía nuclear en nuestro país, debido a la oposición del público a esta energía, y a cierta controversia sobre la gestión más adecuada de los residuos radiactivos, el GEVAL dispuso de una información muy completa del sector para realizar su evaluación, y llegó a las siguientes conclusiones.

El sector nuclear aporta unos 3.000 M€ al PIB español y ofrece unos 9.000 empleos directos y unos 16.000 empleos indirectos de alta cualificación. Este sector tiene empresas importantes que compiten en el mercado tecnológico internacional, con unas exportaciones por encima de 400 M€/año.

La energía nuclear no emite gases de efecto invernadero y contribuye con un 21 % a la generación eléctrica de nuestro país. Se considera muy conveniente mantener esta energía más allá de los 40 años de vida, durante un tiempo importante del periodo de transición energética, para cumplir los objetivos medioambientales, afirmación ésta avalada por el IPCC, UE, AIE, informe MIT, Comisión de expertos para la ley de energía y medio ambiente, etc...

Existe, en diferentes países de Europa y EE.UU., una amplia experiencia en la operación a largo plazo de las centrales nucleares, autorizada por los organismos reguladores, con programas que llegan hasta los 60 años, incluso en algún caso hasta los 80 años. España ha tenido la experiencia de la central nuclear de Santa María de Garoña, que ha operado por encima de los 40 años.

El sector nuclear español dispone de capacidades relevantes de investigación y desarrollo que soportan la participación en el mercado tecnológico internacional con empresas importantes en los campos de ingeniería, fabricación de bienes de equipo, fabricación de combustible nuclear, gestión de residuos radiactivos y servicios técnicos de protección radiológica, seguridad nuclear, ingeniería del combustible y recargas.

La I+D+i del sector nuclear, que invierte unos 44 M€/año, mantiene una amplia colaboración internacional y goza de una buena coordinación nacional, gracias a las iniciativas de la Plataforma Tecnológica CEIDEN. Esta plataforma tiene bien definida su estrategia tecnológica para satisfacer las necesidades de nuestro país, y ha seleccionado unas Iniciativas Tecnológicas Prioritarias, cuya realización tiene un alto interés para la economía y el bienestar del país, colaborando a crear tejido industrial de alta tecnología.

Uno de los retos importantes del sector es el de la gestión de los residuos radiactivos de alta actividad y larga vida, generados en la operación de las centrales nucleares. Para esta gestión existen tecnologías probadas para el almacenamiento temporal del combustible irradiado durante varias decenas de años, bien en Almacenamientos Temporales Individuales (ATIs) de cada central, básicamente en contenedores en superficie, o en un Almacén Temporal Centralizado (ATC). Un análisis simple de estas soluciones temporales revela que el ATC presenta ventajas, siendo la solución elegida para nuestro país en el último Plan General de Residuos Radiactivos (PGRR) de 2006. Sin embargo, esta decisión, que ha dado pasos importantes para decidir un emplazamiento, realizar el proyecto y e iniciar su construcción, está paralizada temporalmente.

Parece muy conveniente que se supere cuanto antes la incertidumbre creada por la paralización del ATC, con objeto de disponer cuanto antes una solución óptima y adecuada durante el largo tiempo necesario para disponer de la solución definitiva en un Almacenamiento Geológico Profundo (AGP). Es, asimismo, importante reactivar en nuestro país la I+D sobre el AGP, que tuvo un impulso relevante en los años 80 y 90; pero que lleva varios años reducida al mínimo.

El sector nuclear ha identificado las barreras principales para su desarrollo tecnológico, que incluyen:

- Aceptación social
- Incertidumbre política
- Costes a optimizar
- Aprobación reguladora de nuevos diseños y métodos
- Financiación de proyectos de I+D
- Formación y relevo generacional

Ha propuesto, asimismo, posibles soluciones a las barreras anteriores



## 5. REFERENCIAS Y CONTRIBUCIONES

### 5.1. Contribuciones y Expertos Participantes

#### Redactor(es) del Anexo:

Ramon Gavela

#### Contribución/Revisión desde la PTE CEIDEN:

Pablo Teófilo León  
Diego Encinas  
Rosario Velasco

#### Otros Revisores del Anexo:

Enrique Gonzalez  
Felix Tellez

#### Miembros de GEVAL-ALINNE que han participado en el ejercicio de análisis de este ANEXO:

Marta Llinás (ACS), Ramón Gavela (ALINNE), Enrique Soria (ALINNE), Ruth Yagüe (CDTI), Mercedes Ballesteros (CIEMAT), M<sup>a</sup> Luisa Castaño (CIEMAT), Ignacio Cruz (CIEMAT), José Antonio Ferrer (CIEMAT), Félix Téllez (CIEMAT), Nieves Vela (CIEMAT), Jaime Segarra (Colegio de Ingenieros de Madrid), Miguel Ángel Bañares (CSIC), Juan Avellaner (EYDESA), Diego García (IMDEA Energía) y Ana Lancha, (M<sup>o</sup> Ciencia, Innovación y Universidades).

#### Secretaría Técnica de ALINNE:

Felix Tellez (ALINNE / CIEMAT)  
Jorge de Berenguer (ALINNE)

### 5.2. Agradecimientos

Las actividades de ALINNE cuentan con **patrocinio público y privado**. Desde el sector público colaboran: **CIEMAT, CRUE, CSIC, IDAE, M<sup>o</sup> de Ciencia, Innovación y Universidades (Agencia Estatal de Investigación, Dirección General de Política de la I+D+i y Dirección General de Industria y de la PYME), M<sup>o</sup> para la Transición Ecológica (Subdirección General de Eficiencia Energética y Oficina Española de Cambio Climático) y la Universidad de Zaragoza. Desde el sector privado se cuenta con la participación de ocho empresas: **ACS-SCE; ALBUFERA ENERGY STORAGE; ESTEYCO; GEOTER; IBERDROLA; NATURGY; REE y SIEMENS-GAMESA.****

Actualmente, estas actividades cuentan, además, con la financiación pública del proyecto “**Red de Excelencia ENE2017-90816-REDE**”

### 5.3. Referencias Bibliográficas

- [1]. Eurelectric: “Decarbonisation Pathways” Part 1 June 2018 (<https://cdn.eurelectric.org/media/3172/decarbonisation-pathways-electrificatino-part-study-results-h-AD171CCC.pdf> ) and Part 2 November 2018 (<https://www.eurelectric.org/decarbonisation-pathways/> )
- [2]. IPCC 2018: “Global Warming of 1,5 °C”. ([https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf) )
- [3]. MIT 2018: “The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World”. (<https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2018/09/The-Future-of-Nuclear-Energy-in-a-Carbon-Constrained-World.pdf>)
- [4]. Análisis y propuestas para la descarbonización. Comisión de expertos sobre escenarios de transición energética.2018 ([http://www6.mityc.es/aplicaciones/transicionenergetica/informe\\_cexpertos\\_201804\\_02\\_veditado.pdf](http://www6.mityc.es/aplicaciones/transicionenergetica/informe_cexpertos_201804_02_veditado.pdf) )
- [5]. Deployment Strategy 2015. Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP) (<http://www.snetp.eu/wp-content/uploads/2016/01/SNETP-DEPLOYMENT-STRATEGY-2015-WEB.pdf> )
- [6]. Nuclear energy without the hot air. Notes for reviewers. UIT (RU) (<http://www.withouthotair.com/> )
- [7]. Impacto socio-económico de la industria nuclear en España 2015. Price Waterhouse Coopers
- [8]. Energía 2017. Foro Nuclear
- [9]. Las centrales nucleares españolas 2016. UNESA
- [10]. Synthesis on the economics of nuclear energy. Study for the European Commission, DG Energy
- [11]. Extern E. Comisión europea
- [12]. WEO 2017. AIE

### 5.4. Abreviaturas

AGP	Almacenamiento Geológico Profundo
ALINNE	Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas
APDTE	Análisis del Potencial de Desarrollo de Tecnologías Energéticas
ATC	Almacenamiento Temporal Centralizado
CEIDEN	Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión
CSN	Consejo de Seguridad Nuclear
EE.RR.	Energías Renovables
ENRESA	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos

ENSA	Equipos Nucleares, SA
ENUSA	Empresa Nacional de Uranio, SA
GEVAL	Grupo de Evaluación (en ALINNE)
PGRR	Plan General de Residuos Radiactivos
PTE	Plataforma Tecnológica Española de Ámbito Energético
SNETP	Plataforma Tecnológica Europea de Energía Nuclear Sostenible

## 5.5. Apéndices

- Apéndice I Encuesta de la PTE CEIDEN
- Apéndice II Presentación de la PTE CEIDEN
- Apéndice III Resultados del ejercicio de subjetividad compartida de GEVAL



## Historial de Cambios

*(Este historial solo aparecerá en el Borrador)*

Version	Fecha	Modificado por	Cambio realizado
0	14/11/18	ALINNE (FT)	Plantilla y propuesta contenidos del Anexo (Inclusion de los resúmenes de las ITPs de CEIDEN). Inclusion de graficos de los indicadores (para 2010-2030) aportados por la CEIDEN
1	21/12/18	R. Gavela	Borrador Anexo Completo
1.1	9/01/2019	ALINNE (FT)	Formato.
1.2	11/01/2019	ALINNE (FT)	Inclusion graficas con estimaciones a 2030.
1.3	15/01/2019	R. Gavela	Revision de graficas y comentarios sugeridos
1.4	25/01/2019	Diego Encinas / Pablo Teofilo Leon	Revision y Comentarios CEIDEN
1.5	30/01/2019	E. Gonzalez	Revision y Comentarios
1.6	30/1/2019	ALINNE (FT)	Consolidacion comentarios CEIDEN, R. Gavela, E. Gonzalez
1.7	20/06/2019	ALINNE(FT)	Seccion "Contexto y Metodología"