

PLATAFORMA TECNOLÓGICA CEIDEN

Ejercicio *“ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS” (APTE 2017-2018)*

CRITERIOS ESTRATÉGICOS

CRITERIO 6: COHERENCIA TECNOLÓGICA (Visión de futuro y Retos a superar)

Según se reconoce en el propio guion para este capítulo elaborado por ALINNE, trazar una hoja de ruta de un sector tecnológico es un ejercicio sujeto a grandes incertidumbres. En el caso de la energía nuclear, este hecho es especialmente significativo.

Frente a esta incertidumbre, el sector nuclear español, coordinado, en lo que a I+D+i y desarrollo tecnológico concierne, por la plataforma CEIDEN, ha definido -y revisa continuamente- su agenda estratégica, articulada en torno a los retos tecnológicos que se plantean al sector, y establece sus actuaciones de acuerdo con dicha agenda, teniendo en cuenta las novedades que surgen en el entorno cambiante de la generación de electricidad y la energía nuclear en particular.

Para desarrollar el criterio 6, de acuerdo con el guion sugerido por ALINNE, en primer lugar se resume la situación actual del sector tecnológico de la energía nuclear de fisión, a nivel mundial, europeo y nacional. A continuación se exponen las líneas de futuro previsto o esperado para el sector nuclear español, con énfasis en las Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITP) desarrolladas de acuerdo con las directrices de ALINNE. En este contexto, se ponen de manifiesto las barreras y necesidades asociadas, así como las oportunidades y soluciones para conseguir los objetivos deseados, en términos de desarrollos tecnológicos que se traduzcan en productos con penetración en el mercado.

1. Situación actual en el ámbito internacional. Perspectivas de futuro

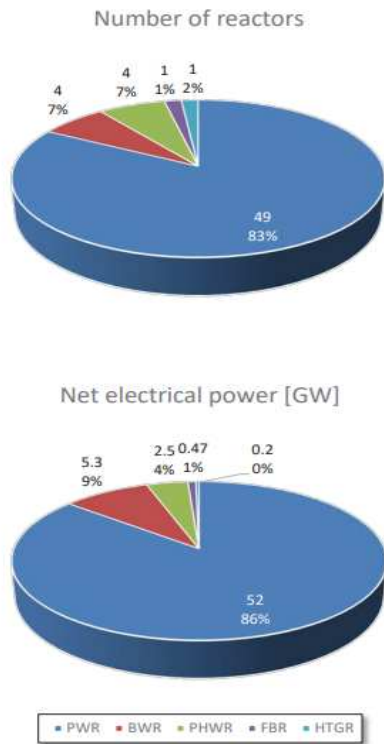


Figure 2. Reactors under construction by type and net electrical power (as of 31 Dec. 2017).

Así lo reconoce el Panel Intergubernamental del Cambio Climático de la ONU (IPCC, por sus siglas en inglés) en su último informe de ciclo (2014), que sitúa a la energía nuclear, junto con las energías renovables, entre las tecnologías de mitigación del cambio climático, poniendo de manifiesto tanto la realidad y las oportunidades de nuevos desarrollos tecnológicos de esta fuente de energía como los retos a los que se enfrenta, y que debe superar para garantizar su futuro.

El más reciente informe publicado por el IPCC *The IPCC 1.5 C Special Report*, ha concluido que para alcanzar una meta de calentamiento máximo de 1,5º C, se requerirá que las emisiones globales de GEI disminuyan casi de inmediato, lo que requerirá un cambio rápido a la electricidad para el uso final de la energía, y que esa mayor demanda de electricidad sea satisfecha por la generación baja en carbono, incluida la nuclear. La capacidad nuclear deberá ser, en promedio, 2,5 veces más alta en 2050 en los 89 escenarios de mitigación considerados por el IPCC, de acuerdo con las conclusiones de este informe.

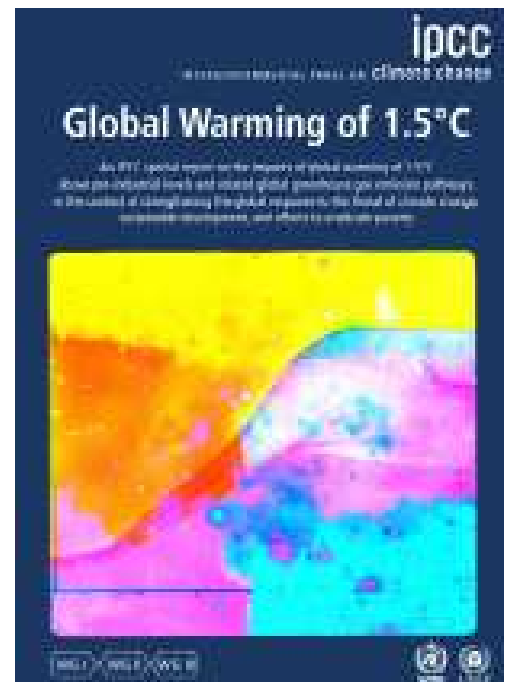
En este sentido, otra referencia muy reciente de especial relevancia es el informe del Massachusetts Institute of Technology (MIT), *The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World* (2018), donde se reconoce que la gran oportunidad para el mantenimiento y crecimiento de la energía nuclear es la

En el plano del mercado internacional, en este momento hay 58 centrales nucleares en construcción en el mundo, y en Europa hay una expectativa de incremento de la capacidad nuclear en torno a 100 GW para los próximos 30 años, con inversiones previstas que se aproximan a los 400.000 M€.

Sin embargo, la energía nuclear de fisión se encuentra en una encrucijada, producto de la combinación de factores favorables y desfavorables a su continuidad y desarrollo. Por una parte, el accidente de Fukushima y sus consecuencias, así como la necesidad de políticas y soluciones definidas para la gestión y almacenamiento de residuos radiactivos y combustible gastado son circunstancias que condicionan el debate sobre su futuro, a la vez que plantean al sector retos para garantizar y demostrar que se trata de una tecnología segura y sostenible.

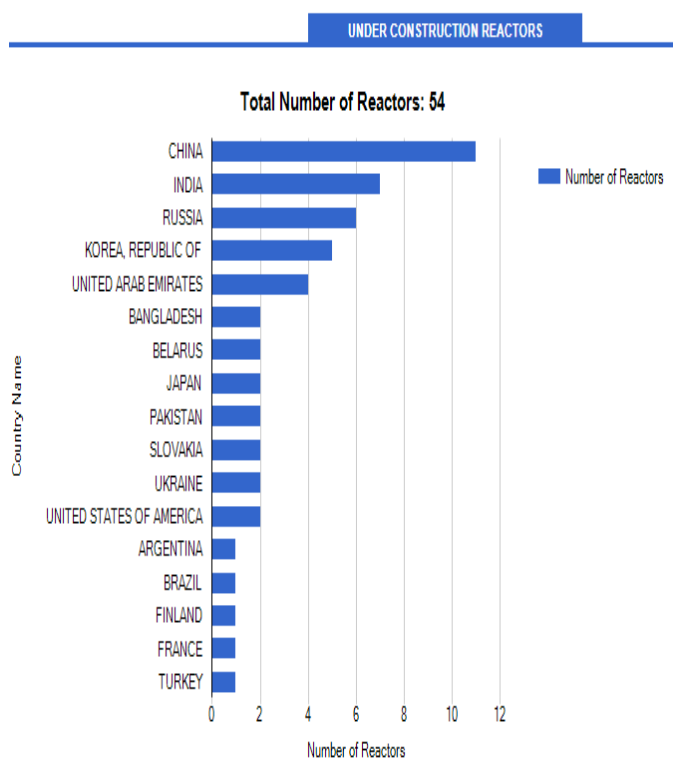
Por otra parte, a las conocidas ventajas y puntos fuertes de esta tecnología de generación se suma la ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que la posiciona muy favorablemente desde el punto de vista del cumplimiento de los objetivos medioambientales.

Así lo reconoce el Panel Intergubernamental del Cambio Climático de la ONU (IPCC, por sus siglas en inglés) en su



descarbonización. Adicionalmente, la tendencia a la electrificación de la economía beneficia claramente a la energía nuclear como fuente de producción de electricidad no emisora de GEI.

Independientemente de todos estos factores, y de otras circunstancias importantes que no se han citado, la energía nuclear continúa creciendo en el panorama mundial, con la construcción y proyectos de nuevas centrales, así como con la operación a largo plazo (LTO, por sus siglas en inglés), más allá de la vida de diseño inicialmente prevista de las plantas en la gran mayoría de los países que disponen de centrales nucleares en operación. Ambos aspectos (la construcción de nuevas centrales y la extensión de vida de las existentes) requieren de desarrollos tecnológicos muy importantes: el primero, por la necesidad de avanzar continuamente hacia diseños y operaciones más eficientes y seguros, adaptados a las necesidades de cada país y región; y el segundo, porque la modernización de plantas diseñadas hace décadas y la adecuada gestión del envejecimiento y de la obsolescencia de las estructuras, sistemas y componentes requieren profundizar en el conocimiento de fenómenos de degradación de materiales, así como el desarrollo de métodos para prevenirlos, mitigarlos y monitorizar e inspeccionar su comportamiento en servicio. De manera que está garantizado que la continuidad de la operación del parque nuclear, tanto de las centrales existentes como de las de nueva construcción, seguirá generando necesidades de desarrollo tecnológico muy significativas.



En cuanto a la situación por regiones, cabe destacar, en primer lugar, que es en Asia donde mayor crecimiento está experimentando la energía nuclear. China e India mantienen un importante y exigente programa de construcción de nuevas centrales. En Japón, donde se requirió el cese temporal de la operación de todas las centrales a raíz de Fukushima, se están poniendo en operación de nuevo las centrales, de manera gradual, tras un exhaustivo examen de la seguridad, con prioridad para las centrales de diseño más avanzado. Corea del Sur, al igual que China, se ha convertido en una potencia nuclear con tecnología autóctona para el diseño, construcción y operación de centrales, que ya ha conseguido exportar (a Emiratos Árabes Unidos). Y, en Oriente Próximo, la energía nuclear es ya una realidad en Emiratos Árabes Unidos y países como Arabia Saudí y otros están haciendo grandes avances para dotarse de un programa nuclear.

También en Rusia existe una importante expansión de la energía nuclear, que se traduce no solo en la construcción y puesta en marcha de nuevas plantas, sino en el despliegue de la industria nuclear rusa, con fuerte apoyo estatal, por todo el mundo, en especial en los países emergentes a la energía nuclear.

En EEUU la construcción de nuevas plantas se ha frenado (aunque no abandonado, puesto que están actualmente en construcción dos unidades nucleares, junto con una fuerte apuesta del Departamento de Energía, DOE, por las nuevas tecnologías de reactores modulares, SMR, *small modular reactors*); si bien la apuesta más fuerte es por la extensión de vida (de los 40 años de la vida de diseño original de las centrales

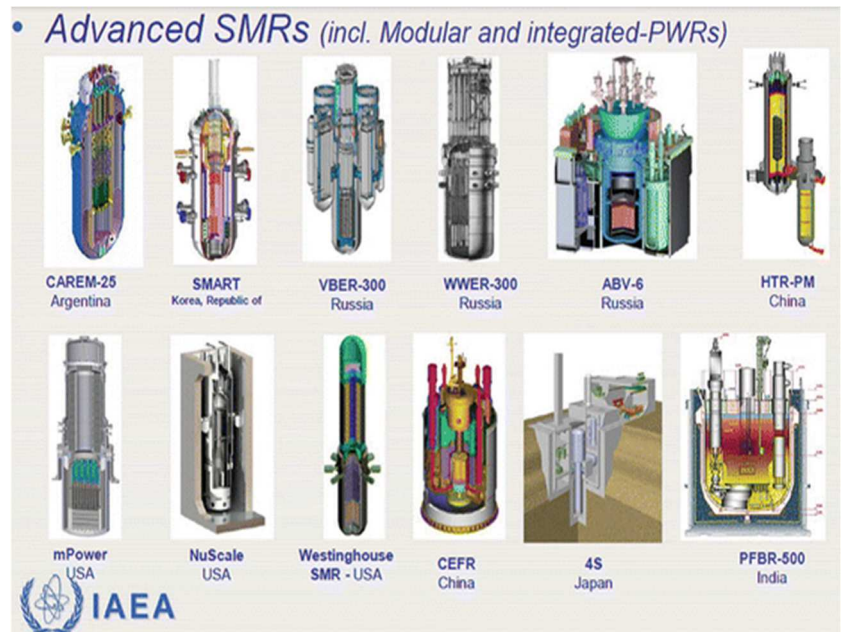
de diseño estadounidense se pasó a los 60 años, que ya tienen autorizados muchas centrales; y actualmente los esfuerzos de I+D+i y desarrollos tecnológicos se centran en la operación hasta los 80 años¹.

En Latinoamérica, región de especial interés estratégico para España, se mantiene un programa nuclear (en Argentina, Brasil y México) y, con diferentes aproximaciones y grados de participación en el desarrollo tecnológico en cada país, se está incrementando y se planea continuar incrementando. Merece la pena resaltar el caso de Argentina, donde se acaba de poner en marcha la tercera central nuclear, están en fase de proyecto dos centrales más y existe un amplio programa de I+D+i, desarrollo tecnológico y construcción, en el terreno de nuevos diseños de reactores y de reactores de investigación. Otros países de la región están desarrollando un programa de aproximación a la energía nuclear y deberán decidir en un futuro próximo sobre la construcción de centrales de producción de energía eléctrica. El sector nuclear español, impulsado por CEIDEN, mantiene relaciones de cooperación fluidas con la región, tanto a nivel de organizaciones regionales, como de carácter bilateral, con los países con programas nucleares.

Además de los más de 30 países que disponen actualmente de centrales nucleares en operación, hay muchos países emergentes a la energía nuclear en distintas regiones del mundo (*newcomers*), con diversos grados de avance en la implantación de un programa nuclear, en algunos casos con centrales nucleares ya en construcción (p.e., Turquía o Bangladesh). La implantación de la energía nuclear en los *newcomers* supone una oportunidad de negocio y desarrollo especial para países con capacidades tecnológicas demostradas, porque requieren desarrollos de infraestructuras nacionales, así como grandes inversiones en capacitación de los operadores.

Finalmente, en el caso de la UE la situación es diversa, dependiendo de las circunstancias en cada país. En Francia existe una política de reducción de la contribución nuclear al mix eléctrico (de un 75 %, aproximadamente, hasta el 50 %); ello, no obstante, supone el mantenimiento de la apuesta por la energía nuclear como principal fuente de generación; por otra parte, hay que destacar que recientemente se ha aplazado la fecha límite de cumplimiento del objetivo del 50 %, y que continúa la construcción de una nueva central (Flamanville-3). Desde el punto de vista de la I+D+i y el desarrollo tecnológico, Francia sigue siendo el principal país europeo en este aspecto, como lo demuestra la construcción en este país del reactor de investigación europeo Jules Horowitz Reactor, JHR² (y, en el campo de la energía nuclear de fusión, el proyecto ITER).

En el Reino Unido se ha emprendido un esfuerzo excepcional para la reactivación de



¹ Cuatro unidades han solicitado al organismo regulador, USNRC, la extensión de su operación a 80 años

² España participa en la construcción del JHR y ha adquirido derechos sobre la explotación del reactor (programa de ensayos) a través de un consorcio coordinado por CIEMAT. Empresas españolas han diseñado y construido elementos tan importantes en el proyecto JHR como los cambiadores de calor de refrigeración del reactor y el simulador

la energía nuclear, con la construcción por parte de Electricité de France, EdF, de dos unidades del Reactor Presurizado Europeo (EPR, por sus siglas en inglés) en el emplazamiento de Hinkley Point C (la primera de ellas ya en construcción), y otras dos unidades EPR en el emplazamiento de Sizewell C, con un fuerte apoyo gubernamental. Otras compañías han mostrado interés en la construcción en diferentes emplazamientos (empresas japonesas y chinas). Más recientemente, se está promoviendo el desarrollo y participación en el terreno de los reactores de baja y media potencia (SMR), uno de los ámbitos con mayor futuro de la energía nuclear.

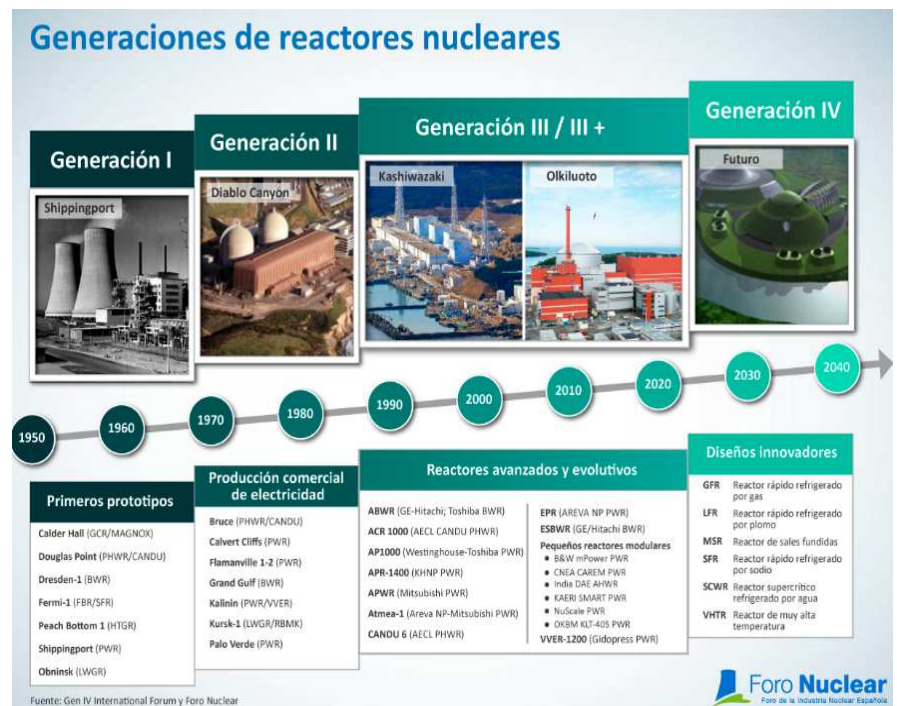
Alemania emprendió hace años un programa de cierre planificado de sus centrales nucleares que está desarrollándose en la actualidad. Sin embargo, esta circunstancia está llevando al país a una situación muy complicada, porque les resulta imposible cumplir con los compromisos en cuanto a la reducción de emisiones de GEI, al sustituir la potencia nuclear por mayor producción de sus centrales de carbón.

En otros países europeos la situación es muy variada. Algunos países han establecido políticas de reducción de la contribución de la energía nuclear al mix eléctrico y/o de cierre gradual de las plantas en operación, mientras que otros apuestan por la operación a largo plazo y/o por la construcción de nuevas centrales (p.e., Finlandia, donde está finalizando la construcción de Olkiluoto-2). Algunos países del Este de Europa tienen planes avanzados de iniciar un programa de construcción de centrales nucleares de potencia (p.e., Polonia y, fuera de la UE, Bielorrusia).

En resumen, el panorama en Europa es muy diverso, pero en cualquier caso sigue existiendo un desarrollo nuclear más o menos sostenido. Todos los países que han desarrollado y mantenido capacidades tecnológicas en el campo de la energía nuclear a lo largo de décadas (incluida, p.e., Alemania) siguen presentes en el negocio, ya sea en el ámbito nacional o en el europeo, o mundial; así como en las diferentes asociaciones y foros internacionales.

Como se apuntó anteriormente, este panorama se traduce en notables necesidades y oportunidades de desarrollo tecnológico. Las centrales nucleares deben ser cada vez más eficientes y seguras, y ello requiere nuevos diseños en los propios reactores y sus sistemas de apoyo, así como tecnologías y métodos de análisis, construcción, inspección, etc.

En el terreno del diseño de los reactores, progresivamente se ha avanzado en el diseño conceptual, desde los reactores de las primeras etapas de la tecnología nuclear (generación I y generación II, que es la de los reactores existentes en España), a las generaciones III y III+ (las de los reactores que se están construyendo en la actualidad, donde quizá la característica novedosa más importante es la introducción de sistemas de seguridad pasivos). Los esfuerzos en I+D+i se concentran en los reactores de un futuro a medio plazo (generación IV),

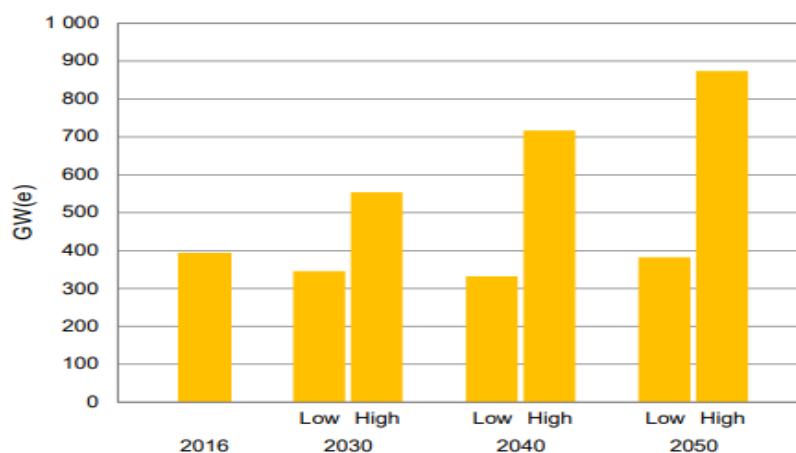


de diseño completamente innovador, más allá del concepto de reactor avanzado (generación III y III+), que consistían en mejorar los diseños tradicionales. En paralelo, existe una línea de innovación muy importante en el campo de los SMR, que cada vez apuntan con más fuerza como los reactores de futuro, por su carácter modular y su versatilidad para suministrar diferentes niveles de potencia, dando respuesta a diferentes demandas en distintos países y regiones, y adaptando su potencia a las capacidades de la red. Últimamente se están lanzando iniciativas en el terreno de los micro-reactores.

En cuanto a otros tipos de necesidades de desarrollo tecnológico asociadas al desarrollo de la tecnología nuclear, son tantos y tan diversos que sería imposible tratar de resumirlos en este apartado. Más adelante, cuando se aborde el caso español, se tratarán los más significativos.

Por último, cabe destacar, en el ámbito europeo, que, pese a que el futuro de la energía nuclear es un tema en continuo debate en el seno de 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.

FIGURE 6. WORLD NUCLEAR ELECTRICAL GENERATING CAPACITY



2. Situación actual en España

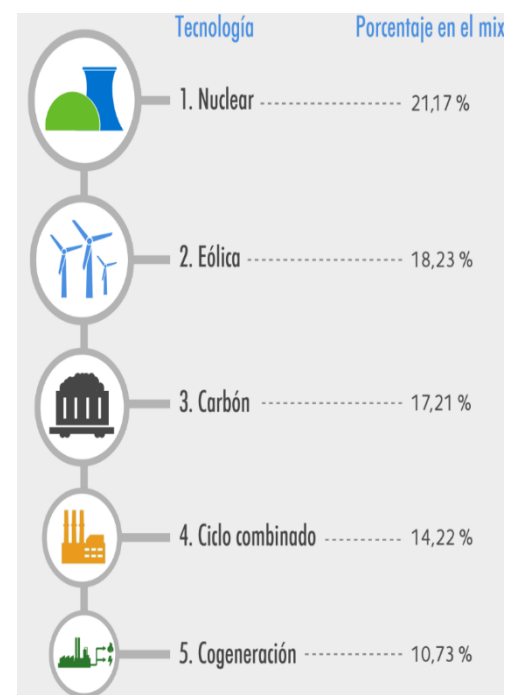
El desarrollo nuclear en España se inició a finales de los años 50 con la construcción de la central nuclear José Cabrera. Desde ese momento y hasta la fecha actual se ha ido creando un importante tejido empresarial en torno a esta industria, basado en la participación de la industria nacional en la construcción de reactores en España (alcanzando un nivel de participación del 80% en las últimas unidades), así como en la propia operación de las centrales. Este tejido empresarial participa en todos los eslabones de la cadena de valor, con más de 200 empresas que realizan sus actividades no solo en España sino en más de 40 países, donde han ganado un reconocido prestigio, y con un aporte al Producto Interior Bruto asociado próximo a los 3.000 M€ y 30.000 puestos de trabajo.

La situación actual de la energía nuclear en nuestro país es bien conocida. El parque de centrales nucleares en operación está compuesto por siete unidades ubicadas en cinco emplazamientos, con una capacidad de generación superior a 7 GW, con edades que superan los 30 años (próximas, por tanto, a alcanzar su vida de diseño original), que operan satisfactoriamente, tanto desde el punto de vista de la producción como de la seguridad nuclear. Con todo ello, la energía nuclear se mantiene como la primera fuente de generación de electricidad, con más del 20 % de la producción total.

El sector nuclear, aparte del parque de centrales, incluye una empresa pública que se dedica a las primeras etapas del ciclo de combustible nuclear (la Empresa Nacional del Uranio, ENUSA), la agencia nacional de gestión de residuos radiactivos (ENRESA), centros de investigación y de desarrollo tecnológico (destacando en este ámbito el CIEMAT), fabricantes (el más importante, con diferencia, la empresa pública Equipos Nucleares, ENSA), compañías de ingeniería de diseño y construcción y de servicios y varios grupos universitarios con amplia experiencia en temas de tecnología nuclear. Por supuesto, el organismo regulador competente en seguridad nuclear y protección radiológica (el Consejo de Seguridad Nuclear, CSN) es una entidad clave en este contexto. La industria nuclear es una actividad con una regulación muy exigente para garantizar la seguridad nuclear y radiológica, que configura el marco de competencias del CSN, creado por Ley en 1980.

Todo este entramado de entidades configura un sector sólido, que ha podido mantener e incrementar su nivel de competencia y sus capacidades tecnológicas a lo largo de décadas, basándose en buena medida en la internacionalización del negocio y de las actividades, en general, que se produjo sobre todo a raíz de la interrupción de la construcción y puesta en marcha de centrales nucleares en nuestro país, a finales de los 80. Por otra parte, se trata de un sector que ha mantenido una coordinación entre los diferentes subsectores y entidades, lo que ha facilitado la planificación estratégica.

En el terreno de la I+D+i y el desarrollo tecnológico, siempre ha existido un mecanismo de coordinación de las actividades a escala nacional, que en el pasado adoptó diferentes formas de actuación. En 1999 se creó el Comité Estratégico de Investigación en Energía Nuclear, CEIDEN, auspiciado y bajo la presidencia del Ministerio competente en energía. En 2007, CEIDEN se constituye en plataforma tecnológica, reconocida desde el inicio por el Ministerio competente. Desde 2009, la presidencia de CEIDEN la ostenta un miembro



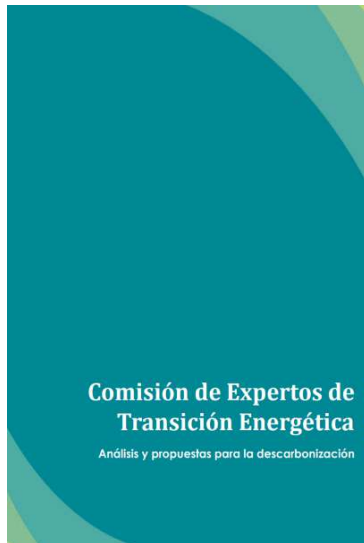
del Plenario del CSN. La secretaría general de la plataforma la ha ejercido, desde los inicios, la compañía eléctrica ENDESA. Por tanto, una fortaleza del sector nuclear es que mantiene una entidad coordinadora de las actividades y esfuerzos de las entidades del sector en I+D+i y desarrollo tecnológico, que, además, se encarga de definir las líneas estratégicas de la I+D+i y de presentar una posición sectorial común ante las instancias nacionales, europeas e internacionales.

A lo largo de su trayectoria, y en especial en los últimos años, CEIDEN ha desarrollado una serie de elementos e instrumentos que se consideran clave para afianzar el posicionamiento del sector nuclear español, garantizar su coherencia tecnológica y encauzar y facilitar su desarrollo. Entre estos elementos cabe destacar los siguientes:

- Agenda estratégica
- Estudio de capacidades del sector español para llevar a cabo un nuevo proyecto nuclear
- Análisis de la cadena de suministro para la construcción de una instalación nuclear
- Desarrollo de ITP (en el ámbito de ALINNE)
- Mapa de capacidades tecnológicas
- Catálogo de infraestructuras nacionales en I+D
- Catálogo de códigos y herramientas de cálculo disponibles (incluyendo capacidades de uso y desarrollo por parte de cada entidad)
- Análisis de capacidades en educación y formación (y catálogo de productos y capacidades formativas)
- Análisis anuales de la inversión en I+D+i
- Red de puntos de contacto internacionales
- Participación en ejercicios de benchmark y planificación estratégica a escala europea e internacional
- Coordinación y colaboración sistemática con la Plataforma Española de I+D en Protección Radiológica, PEPRI (que también está presidida por el CSN)
- Coordinación con otras plataformas tecnológicas del ámbito energético (a través del comité de coordinación CCPTTE)
- Colaboración y coordinación con otras plataformas tecnológicas de ámbito transversal (p.e., en temas materiales avanzados, con MATERPLAT)



3. Perspectivas de futuro en España



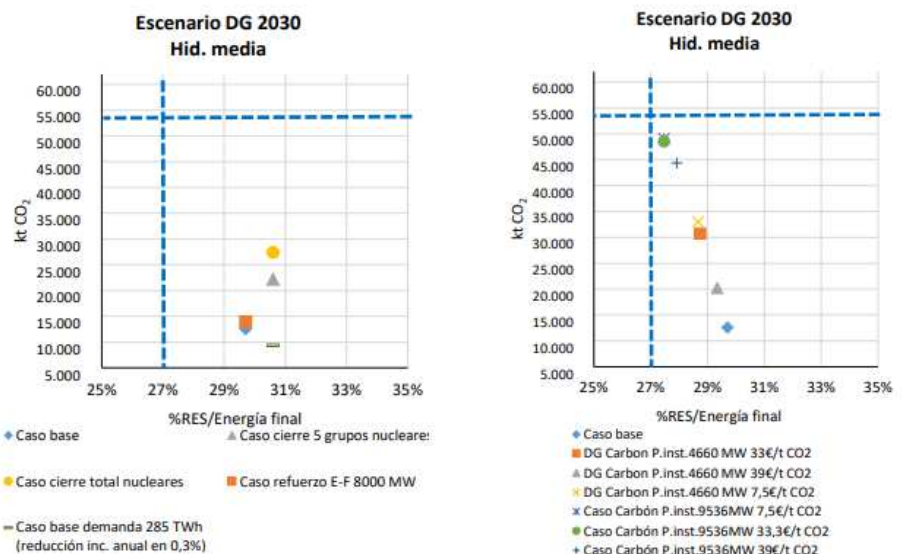
En la situación actual, es difícil predecir el futuro de la energía nuclear en nuestro país. Evidentemente, no es verosímil la posibilidad de que se aborde la construcción de nuevas centrales a corto o medio plazo. Por otra parte, es alta la incertidumbre sobre la fecha de cierre de las centrales nucleares existentes. La operación a largo plazo (LTO, por sus siglas en inglés) está resuelta a nivel tecnológico hasta, al menos, los 60 años (y en España existe alto nivel de conocimiento y capacidades para abordar este tema desde el punto de vista técnico³). Desde la perspectiva de CEIDEN, se considera un escenario verosímil la extensión de vida hasta, al menos, los 50 años, y sobre esta base se ha realizado el ejercicio de respuesta al cuestionario en los criterios 1 a 5.

Desde un punto de vista técnico, se considera que la mejor (y única) referencia de que se dispone actualmente para analizar escenarios de futuro es el informe de la Comisión de Expertos de Transición Energética (abril 2018). En dicho informe se reconoce la necesidad de mantener la

aportación de la energía nuclear, al menos durante la etapa de transición energética, y en todos los escenarios analizados en el informe se asume la continuidad de una contribución más o menos importante de la energía nuclear al mix de generación. Dice el informe: *“todos los escenarios, menos el de la no extensión de vida útil de la energía nuclear, cumplen con los límites”* (de emisiones). Las conclusiones de este informe de ámbito nacional son completamente consistentes con las obtenidas por el panel IPCC de la ONU que se mencionan en el apartado 1.

Con estas perspectivas, y aun siendo conscientes del grado de incertidumbre que comportan, se considera que la planificación estratégica en I+D+i y desarrollo tecnológico nuclear debe enfocarse en dos direcciones:

1. a corto y medio plazo, dar soporte a la LTO del parque nuclear existente
2. a largo plazo, realizar seguimiento y continuar participando en proyectos internacionales relativos a los nuevos diseños de reactores, tanto por su interés en sí mismos como oportunidades de negocio en el plano internacional, como por el interés de poder adaptar parte de las nuevas

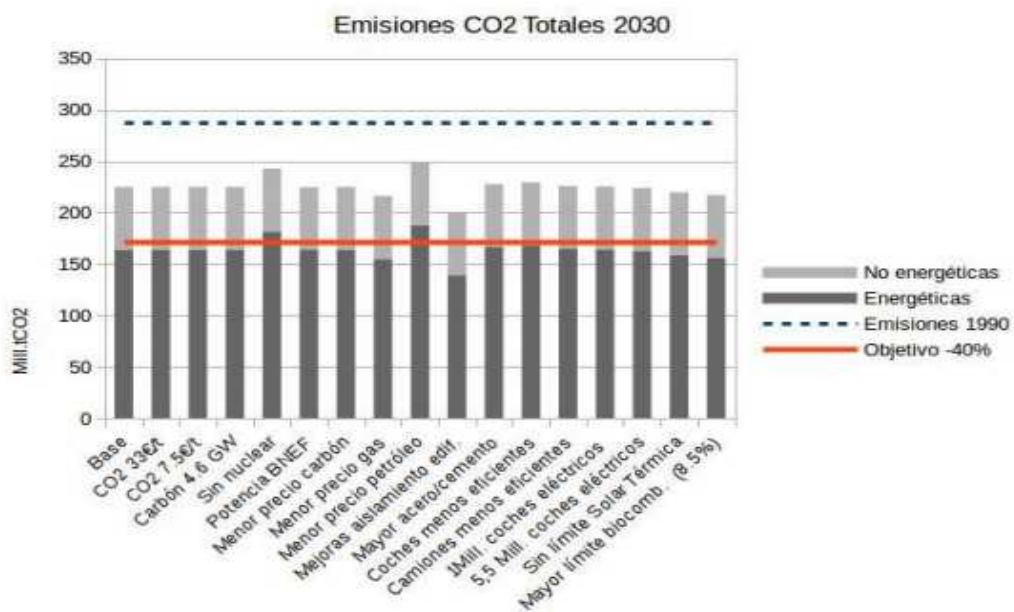


³ De hecho, ya se tiene experiencia de autorización de LTO en España: la que fue concedida en 2009 a la Central Nuclear Santa María de Garoña (hoy en cese de explotación definitivo por motivos que no guardan relación con LTO)

tecnologías a la LTO de los reactores en operación actuales, y para estar preparados para un eventual relanzamiento de programa nuclear español

No debe olvidarse, además, que los procesos de desmantelamiento de las centrales en cese de operación y la restauración de los emplazamientos son grandes actividades con alto componente técnico y oportunidades de desarrollos tecnológicos importantes. Y en este terreno España ha acumulado experiencia práctica en los procesos de desmantelamiento ya iniciados. Tanto la agencia de gestión de residuos, ENRESA, como el regulador, CSN, son entidades de referencia a nivel internacional en estos temas. Asimismo, varias empresas del sector acumulan capacidades y experiencia importantes en desmantelamiento, tanto en España como a nivel internacional, que pueden exportar a la mayoría de los países, menos avanzados que España en estos temas.

Adicionalmente, y no menos importante, la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado que, sea cual sea el escenario futuro, debemos afrontar (y ya lo estamos haciendo) como país, incorpora a su vez importantes retos tecnológicos a los que debe darse respuesta.



4. Agenda estratégica de la I+D+i nuclear en España

Tras un proceso de análisis y revisión autocrítica, CEIDEN elaboró en 2014 una nueva agenda estratégica de la I+D+i nuclear, que se despliega en torno a los tres principales retos tecnológicos del sector. En 2018, y tomando en consideración los inputs que se enuncian en el apartado anterior, se considera que esta agenda estratégica sigue vigente. A continuación se definen y resumen los aspectos más relevantes de estos retos.



4.1 Reto tecnológico RT1: Operación segura a largo plazo

Según se ha puesto de manifiesto con anterioridad, la LTO implica un esfuerzo importante en desarrollos tecnológicos asociados a la adecuada y segura gestión del envejecimiento y de la obsolescencia de las estructuras, sistemas y componentes de las centrales nucleares. Las entidades españolas han trabajado y trabajan en este campo en programas internacionales destinados a mejorar el estado del arte en conocimiento y soluciones a las problemáticas identificadas, de manera que disponen de capacidad adecuada para afrontar los retos futuros y desarrollar soluciones tecnológicas para superarlos.

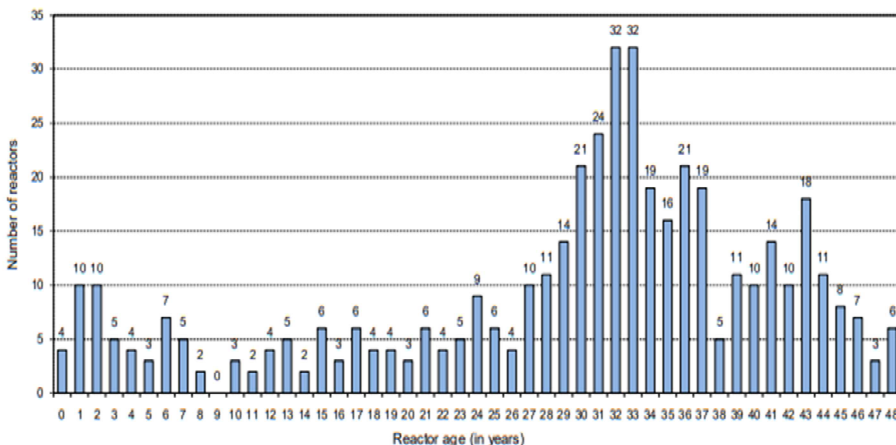
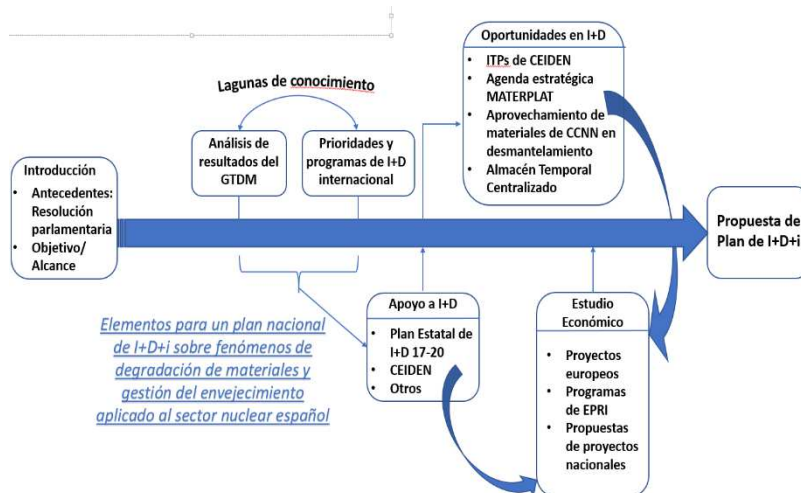


Figure 5. Number of operational reactors by age (as of 31 Dec. 2017).

Hay una circunstancia significativa que merece la pena destacar en este contexto. En 2014, el Congreso de los Diputados emitió la siguiente resolución: “... promover a través del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) ensayos de I+D+i entre centrales, las universidades y centros tecnológicos para un mejor conocimiento del comportamiento de fenómenos de degradación no previstos inicialmente”. Para dar respuesta a esta petición, se constituyó en CEIDEN el Grupo de Trabajo sobre Degradación de Materiales, agrupando a



expertos procedentes de todos los actores involucrados: operadores de las centrales, organismo regulador, centros tecnológicos y compañías de ingeniería y servicios. El GTDM emitió en 2017 un informe (en borrador) en el que se analizan los fenómenos degradatorios que pueden afectar a las centrales nucleares españolas, así como el estado de conocimiento sobre dichas fenomenologías y sobre las medidas de control, mitigación y vigilancia aplicables; y donde se identifican las lagunas de

conocimiento y potenciales actividades de investigación adecuadas para cubrir las. Este esfuerzo ha tenido continuidad en el trabajo de fin de grado de un alumno de ingeniería que desarrolló sus prácticas de empresa en CEIDEN, *Elementos para un plan nacional de I+D+i sobre fenómenos de degradación de materiales y gestión del envejecimiento aplicado al sector nuclear español*, que se espera que sirva como referencia principal para formar un grupo estable de expertos en temas de materiales nucleares que desarrolle las líneas directrices de estos trabajos en asuntos asociados al LTO y que, si fuera necesario, elabore un plan nacional de I+D+i centrado en estos aspectos.

Otro aspecto importante relativo a este reto **RT1** es la utilización de nuevos materiales para afrontar problemas específicos del envejecimiento en las centrales nucleares, así como, en general, para mejorar el rendimiento y la fiabilidad operativa de las plantas. En este ámbito hay mucho margen para la exploración en el sector nuclear, donde hasta ahora han existido reticencias a la introducción de materiales nuevos, por la carencia de estándares de aplicación específica a un sector tan regulado como el nuclear, desde el punto de vista de la seguridad. Para impulsar este campo prácticamente nuevo, es clave la colaboración con la plataforma MATERPLAT, en cuya agenda estratégica ha colaborado CEIDEN, en lo que respecta a las potenciales aplicaciones en energía nuclear de fisión.

La LTO de las centrales españolas no implica únicamente aspectos de gestión del envejecimiento de materiales. La continuidad de la operación de nuestras centrales requiere su modernización y la respuesta a retos que no existían cuando se construyeron. En este aspecto se entrelazan los retos tecnológicos **RT1** y **RT3**; en el apartado dedicado a este último se aborda en más detalle esta cuestión.

Finalmente, un aspecto importante es la transversalidad de este reto **RT1**, dado que otros sectores energéticos (p.e., el de la energía eólica) y, en general, otros sectores tecnológicos han identificado la

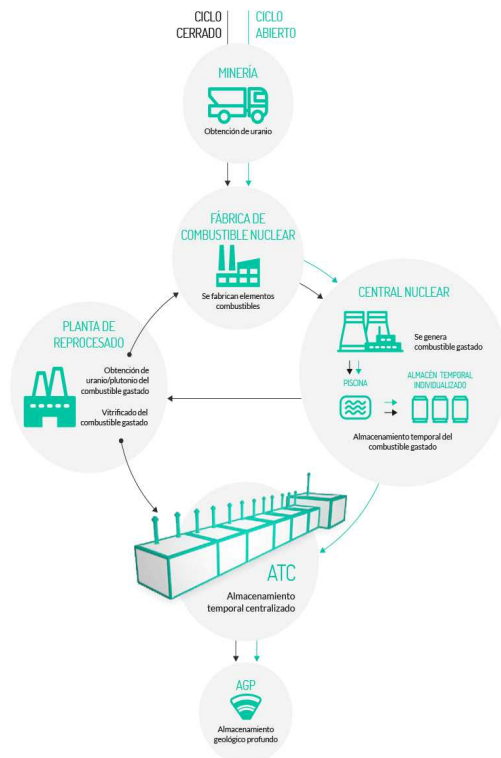


investigación en gestión del envejecimiento y en operación a largo plazo de las instalaciones como líneas de actuación prioritarias.

4.2 Reto tecnológico RT2: Gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado

La gestión de los residuos radiactivos de muy baja, baja, media y alta actividad que se generan en las distintas etapas del ciclo del combustible nuclear, desde la minería hasta la operación de las centrales nucleares, supone una actividad muy importante, donde la eficiencia, la seguridad y la minimización del

impacto ambiental en el manejo y almacenamiento de estos residuos son factores clave. Si bien existen soluciones tecnológicas contrastadas para realizar estas actividades adecuadamente, la necesidad de optimización continua de estos procesos plantea retos tecnológicos a los que debe responderse.



Por otra parte, el manejo, transporte y almacenamiento seguro -temporal y definitivo- del combustible nuclear gastado supone en sí mismo una de las más importantes actividades que se plantea la industria nuclear y que ocupará la agenda tecnológica del sector a corto, medio y largo plazo. En nuestro país existe una hoja de ruta bien definida en este aspecto (reflejada en el VI Plan General de Residuos Radiactivos, PGRR, elaborado por el Gobierno), que pasa por el almacenamiento temporal, primero en los emplazamientos de las propias centrales (tanto en húmedo, en las piscinas de combustible, como en seco, en los almacenamientos temporales individuales en cada central nuclear, ATI), después en el almacenamiento

temporal centralizado, ATC, actualmente en fase de construcción (aunque su futuro está sujeto a decisiones políticas), y finalmente, la disposición definitiva en un almacenamiento geológico profundo (AGP), cuya entrada en operación se prevé hacia el año 2068.

Estas actividades requieren de unas inversiones constantes en I+D+i, según se establece en el VI PGRR, que deberá ser actualizado a corto plazo. En el PGRR vigente se establecen necesidades y prioridades en investigación y desarrollo tecnológico, lo que supone un excelente punto de partida para la orientación de los esfuerzos en este terreno.

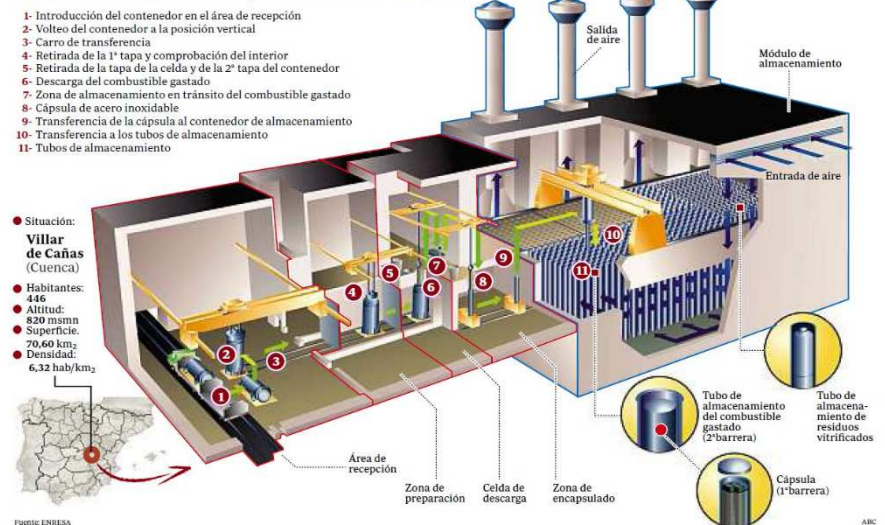
Por otra parte, ENRESA, la agencia nacional de gestión de residuos radiactivos, cuenta con una amplia experiencia técnica, reconocida internacionalmente, en todas las materias relacionadas con este reto tecnológico y con un programa sólido y consolidado de I+D+i para mantener y extender los conocimientos necesarios para realizar sus funciones. A las capacidades de ENRESA se suman las de varias entidades españolas (centros de investigación, compañías de ingeniería) que han desarrollado importantes proyectos a escala nacional e internacional.

Dentro de este reto tecnológico **RT2**, las principales actividades y oportunidades a corto y medio plazo están asociadas a la construcción y operación del ATC, según se detalla más adelante, cuando se presentan las Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITP).

Es interesante destacar los resultados relacionados con este reto de la misión combinada IRRS-ARTEMIS a que ha sido sometida

España, llevada a cabo muy recientemente (octubre 2018) por un equipo internacional coordinado por la Organización Internacional de la Energía Atómica, OIEA⁴. De la nota de prensa elaborada por el propio OIEA se destacan los siguientes párrafos, que son los que tienen relación con el **RT2**:

Proyecto de almacén temporal centralizado (ATC)



España muestra un fuerte compromiso con la seguridad nuclear y radiológica, pero el país podría enfrentar algunos desafíos en la implementación de su estrategia de gestión de residuos radiactivos

El equipo internacional felicitó a España por su estrategia para la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado generado en el país. El equipo observó, sin embargo, que los retrasos en la implementación de esta estrategia podrían afectar a su sostenibilidad

La misión abarcó el marco y programa nacional para la gestión de todo tipo de residuos radiactivos y combustible gastado en España. El equipo observó dos buenas prácticas que serán promovidas internacionalmente:

- Buena práctica nº2: El diseño de vanguardia de ENRESA para la instalación del ATC como parte de una estrategia nacional para administrar el combustible gastado

El equipo hizo varias recomendaciones para ayudar a fortalecer la seguridad nuclear y radiológica en el país:

- Recomendación nº 1: *El Gobierno debe garantizar que el retraso en el establecimiento del ATC no afecte negativamente a la gestión segura del combustible gastado y a los residuos de alta actividad*
- Recomendación nº 2: *El Gobierno debe tomar medidas inmediatas con respecto a la actualización del PGRR*

⁴ “Por primera vez, este organismo internacional ha realizado dos revisiones de inter pares diferentes combinadas en una sola misión. El equipo del Servicio Integrado de Revisión Reguladora (IRRS, por sus siglas en inglés) examinó el marco regulatorio español para la seguridad nuclear y radiológica y el equipo del Servicio Integrado de Revisión para la Gestión, Desmantelamiento y Restauración de Residuos Radiactivos y Combustibles Gastados (ARTEMIS, por sus siglas en inglés) proporcionó una evaluación independiente del programa de gestión de residuos radiactivos de España. La misión combinada se llevó a cabo a petición del Gobierno de España. La misión fue organizada por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), el Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO) y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA)” [cita textual de la nota de prensa oficial elaborada por el OIEA]

- *Recomendación nº 3: El Gobierno, el CSN y ENRESA deben desarrollar regulaciones, requisitos técnicos y un plan de implementación para una instalación de AGP*

Adicionalmente, es interesante reproducir otros dos resultados de esta misión directamente relacionados con el RT2:

- *Sugerencia: ENRESA debería asegurar que se están desarrollando e implementando la estrategia y los mecanismos para evitar la pérdida de conocimiento y know-how sobre la gestión de los residuos radiactivos y el combustible gastado*
- *Recomendación: ENRESA debe reevaluar la suficiencia de los fondos de I+D necesarios para apoyar el desarrollo gradual del programa de AGP*

La misión del OIEA demuestra el fuerte compromiso de España con la seguridad y apunta a desafíos en la gestión de residuos radiactivos

26 de octubre



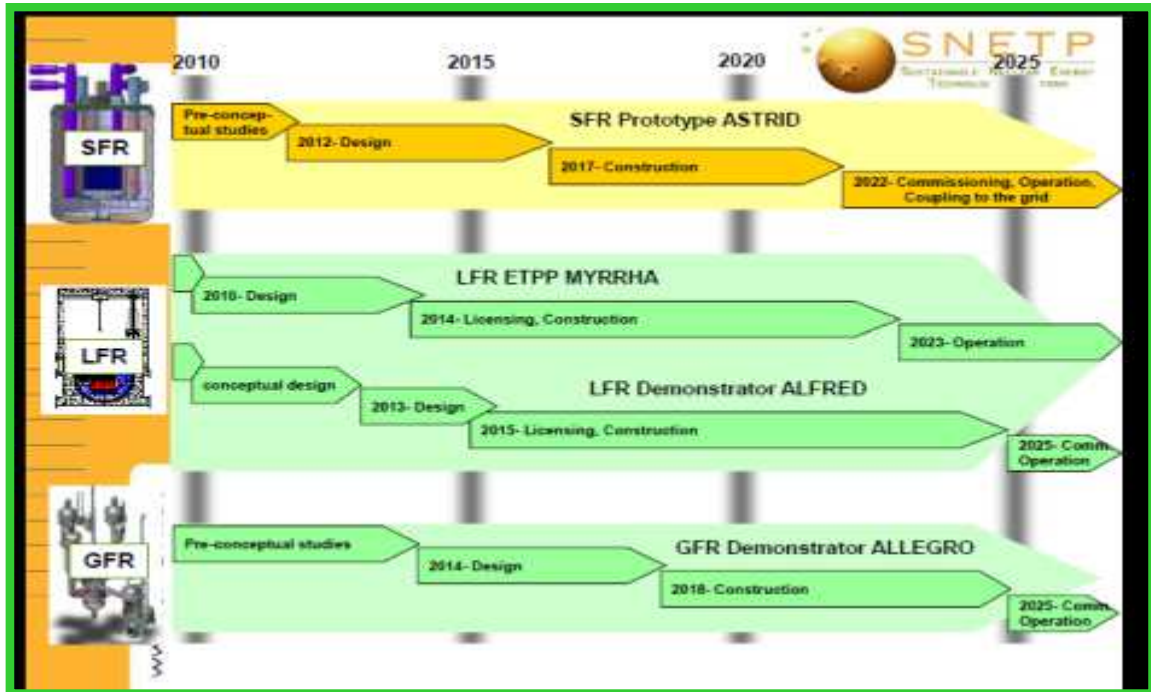
En resumen, se reconoce la solvencia tecnológica alcanzada por España en materia de gestión de residuos radiactivos y combustible gastado, en especial la demostrada en el diseño del ATC como instalación única, y se insta al Gobierno de España a que actualice e impulse las estrategias de gestión de los residuos radiactivos; y a ENRESA a que asegure el mantenimiento del know-how y garantice adecuadas inversiones en la I+D asociada al AGP. Todo ello constituye sin duda un respaldo a lo que se ha logrado y una palanca para activar todo lo que queda por hacer.

4.3 Reto tecnológico RT3: Nuevos proyectos / nuevas tecnologías

Este reto tecnológico en realidad se desdobra en dos enfoques: desarrollo de nuevos proyectos nucleares y aplicación de nuevas tecnologías a las centrales nucleares existentes.

El primer enfoque es el relativo a desarrollo, diseño y construcción de nuevos reactores nucleares, tanto en los aspectos más conceptuales (para los reactores de nueva generación) como en desarrollos tecnológicos específicos de aplicación directa e inmediata (a los reactores nucleares actualmente en fase de diseño, construcción e inicio de la operación). Dado que, como se ha señalado, no hay perspectivas de construcción de nuevas centrales en nuestro país a medio plazo, aquí la actividad se concentra en el exterior. En el apartado 1 se presenta una panorámica a nivel mundial de las perspectivas en cuanto a construcción y desarrollo de nuevos reactores; en la UE, conviene destacar que en la iniciativa *European*

Sustainable Nuclear Industrial Initiative (ESNII) promovida por la Plataforma Tecnológica Europea de Energía Nuclear Sostenible (SNETP, por sus siglas en inglés), mediante la que se trata de coordinar los esfuerzos para el desarrollo de los reactores del futuro (Generación IV), participan diversas entidades españolas.



Los esfuerzos de internacionalización que han realizado y siguen realizando las entidades del sector se traducen en que empresas españolas tienen una participación significativa en los nuevos proyectos en diferentes países, y se espera que esta participación siga en aumento. Ello justifica este **RT3** y el seguimiento de los programas e iniciativas internacionales en este terreno que, en lo que concierne a la I+D+i y el desarrollo tecnológico, se realiza de forma coordinada en CEIDEN.

El segundo enfoque está fundamentalmente dirigido al mercado nacional. Se trata de la modernización de las centrales de nuestro parque nuclear, estrechamente ligado a la LTO y, por tanto, al **RT1**. Para mejorar la seguridad y la eficiencia de nuestras centrales, que han cumplido más de 30 años de operación segura y fiable, es necesario o conveniente introducir tecnologías modernas, que ya están implantadas en otros sectores industriales; pero que, en un campo tan regulado y donde la seguridad es tan importante como el de la energía nuclear, deben implantarse con precaución y generalmente requieren de desarrollos tecnológicos específicos para aplicarlos a este campo.

Posiblemente el caso más claro es el de la introducción de I&C digital, pero hay una gran variedad de tecnologías que se están introduciendo o se prevé introducir en las centrales, lo que genera un importante volumen de desarrollo tecnológico específico. En este ámbito se incluyen también nuevas necesidades tecnológicas que, nuevamente, hay que implantar en el contexto de instalaciones que fueron diseñadas hace décadas, y que además requieren desarrollos específicos para el campo nuclear (p.e., la ciberseguridad). También en este caso se amplía este tema más adelante, cuando se presentan las ITP.

Muchas empresas españolas están trabajando en este terreno asociado al **RT3**, que, por su propia naturaleza, tiene una componente de transversalidad muy interesante, porque permite la cooperación con otros sectores tecnológicos.

4.4 Temas transversales

Como complemento a los retos tecnológicos, la agenda estratégica de CEIDEN destaca que debe prestarse especial atención a los temas transversales, para apoyar el logro de los objetivos del sector. En esta agenda se recogen dos temas clave:

1. la *formación y la gestión del conocimiento* (sobre todo teniendo en cuenta la necesidad de gestionar adecuadamente el proceso de relevo generacional)
2. el análisis, valoración y difusión de las *capacidades tecnológicas* del sector nuclear español


Consecuentemente, CEIDEN ha dedicado y dedica muchos esfuerzos al desarrollo de estos temas.

Desde la edición de esta agenda estratégica (2014), otros temas transversales de gran importancia que han ido surgiendo se han incorporado al programa de actividades de la plataforma CEIDEN: estudios sociotécnicos; análisis y difusión de las infraestructuras españolas de I+D; análisis de las inversiones españolas en I+D+i; entre otros.

Por último, merece la pena destacar que los desarrollos técnicos en energía nuclear muchas veces son aplicables a otras actividades, y ello es fuente potencial de mutuos beneficios y de ampliación del radio de acción de este sector. Desde CEIDEN se presta atención especial a evidenciar y explotar este tipo de sinergias. Un ejemplo es la utilización de las técnicas y métodos de Análisis Probabilista de Seguridad (APS) y de Análisis de Factores Humanos, muy desarrollados en el sector nuclear, a otros campos científicos o tecnológicos; como lo es el de las aplicaciones médicas (radioterapia, medicina nuclear), donde se han desarrollado en España aplicaciones innovadoras (metodologías de análisis basadas en matrices de riesgo) gracias a la colaboración entre los expertos del sector nuclear y los del campo de la protección radiológica en Medicina. Todo ello articulado gracias a las plataformas tecnológicas sectoriales (CEIDEN y PEPRI).



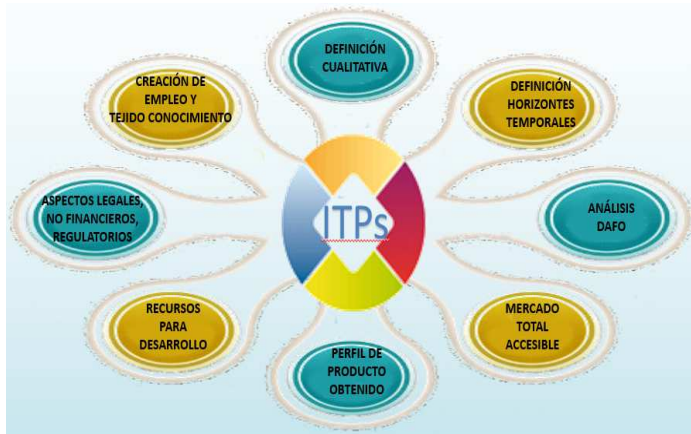
CAPACIDADES
ESPAÑOLAS PARA
AFRONTAR UN NUEVO
PROYECTO NUCLEAR



**CADENA DE
SUMINISTRO PARA
LA CONSTRUCCIÓN
DE UNA INSTALACIÓN
NUCLEAR**

5. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITP)

La agenda estratégica es el punto de partida fundamental para definir líneas de trabajo y enfocar las actuaciones del sector, de manera que estén alineados con los objetivos estratégicos. Pero estas líneas de alto nivel deben desplegarse en programas y proyectos concretos que materialicen el desarrollo tecnológico y se traduzcan, finalmente, en soluciones tecnológicas y productos comerciales.



En este contexto, las Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITP) propuestas por ALINNE en 2016 han constituido para el sector nuclear, coordinado por CEIDEN, un ejercicio de enorme utilidad, porque han permitido demostrar la capacidad del sector para ponerse de acuerdo y coordinarse en la definición y desarrollo de dichas iniciativas; así como para demostrarnos a nosotros mismos y a las instancias interesadas, en general, nuestras capacidades para generar líneas de trabajo y proyectos con coherencia tecnológica, partiendo de nuestros propios

retos, capacidades y actividades y proyectos ya en curso. En definitiva, el ejercicio ha servido para identificar y profundizar las iniciativas que permitan resolver los retos y aprovechar las oportunidades del sector nuclear español.

En realidad, cabe hablar de dos conjuntos de ITP; o, como se han denominado en CEIDEN, de dos fases: una primera fase (**ITP-I**), en la que se han establecido tres grandes líneas de desarrollo tecnológico, partiendo directamente de los tres retos tecnológicos (**RT1**, **RT2** y **RT3**) analizados en el apartado anterior; y una segunda fase (**ITP-II**), en que se definen tres grandes programas de I+D+i y desarrollo tecnológico, que incluyen proyectos específicos de tecnología puntera y alto interés estratégico y comercial, nuevamente asociados a los retos tecnológicos del sector, pero con un grado de definición muy superior al de las **ITP-I**, con horizontes temporales, inversiones requeridas y productos esperados claramente establecidos. Las **ITP-II** surgieron a raíz de la presentación a un grupo de expertos de ALINNE de las **ITP-I** (julio 2017), en una reunión donde, como principal recomendación, surgió la conveniencia de elaborar unas nuevas ITP con mayor grado de concreción.



Tanto las **ITP-I** como las **ITP-II** han sido fruto del trabajo de un grupo de expertos compuesto por profesionales de las entidades más importantes del sector (CIEMAT, CSN, ENDESA, ENRESA, ENSA, ENUSA y TECNATOM), coordinados por CEIDEN, y cuentan con el apoyo de la plataforma.

instalación formará parte de un parque tecnológico que dispondrá de un centro tecnológico asociado y de infraestructuras para facilitar el asentamiento de empresas en la zona. En virtud de los análisis efectuados desde los puntos de vista técnico, estratégico y económico, esta solución se consideró como la idónea para el caso español y constituye el objetivo básico prioritario para los próximos años.

La instalación ATC será de tipo bóveda y de carácter modular, dotada de una celda caliente de recepción y acondicionamiento del CG y del resto de residuos, lo que permitirá a su vez desdoblarse la función de la instalación en su vertiente de almacén, y de centro tecnológico y de investigación en el ámbito de la gestión de los residuos radiactivos.

La **ITP-I.1** consiste, básicamente, en la construcción y puesta en marcha del ATC para la ubicación temporal de CG y RAA, y de las instalaciones complementarias (laboratorios fundamentalmente).

Se han identificado 8 sub-actividades en que se desarrolla la ITP. Cada una de estas sub-actividades se encuadrará en alguna de las seis áreas de trabajo enumeradas a continuación:

- I. Equipos para la gestión del CG
- II. Centro tecnológico asociado al ATC: Laboratorios ATC
- III. Laboratorios del CIEMAT
- IV. Protocolos de clasificación del CG
- V. Gestión final del CG y RAA (almacenamiento directo)
- VI. Separación, reproceso, reutilización, partición y transmutación

sub-actividades	área de trabajo
1) ATC y sus componentes	I
a. Componentes	
b. Construcción, equipamiento	
2) Infraestructuras de I+D asociadas (construcción y equipamiento)	
a. Centro tecnológico incluyendo laboratorios nuclear y de residuos radiactivos	II
b. Laboratorios del CIEMAT	III
3) Almacenamientos temporales individuales (ATI), contenedores y almacenes	I
4) Contenedores de transporte	I
5) Caracterización del CG y acondicionamiento del combustible dañado	IV
6) Gestión final del CG y RAA (almacenamiento directo)	V
7) Separación, reproceso, reutilización, partición y transmutación	VI
8) Validación de tecnologías y datos nucleares de referencia	---

ITP-I.2, Operación a Largo Plazo (LTO)

La edad media de las centrales nucleares en el mundo está en torno a los 30 años, 250 de los más de 440 reactores en operación superan los 30 años y la situación es muy similar en nuestro continente y en los países de la Unión Europea. La edad media de las plantas españolas supera también los 30 años.

Según se va acercando la fecha de finalización de la vida de diseño para la que estas plantas fueron proyectadas (40 años, como es el caso de las centrales nucleares españolas, es un periodo típico), se plantea la posibilidad de que sus propietarios pidan extensión del periodo de operación (a 60 años, o más), respaldado por una adecuada gestión del envejecimiento de estructuras, sistemas y componentes (ESC), así como por su actualización tecnológica, sus niveles de seguridad y su alta fiabilidad. Es condición necesaria que la planta cumpla los requisitos regulatorios, que deben ser supervisados por la autoridad reguladora nacional correspondiente.

El caso paradigmático de la LTO es Estados Unidos, origen de la tecnología de la mayoría de las plantas nucleares en operación en España. En dicho país, hay 38 unidades operando más allá de los 40 años, 84 unidades nucleares (más del 80 % del total) tienen permiso para operar hasta los 60 años, y existen estudios conjuntos de I+D del regulador y la industria para analizar la posibilidad de operar las plantas hasta los 80 años. En Estados Unidos, el organismo regulador,

la USNRC, ya ha recibido la petición de operación a 80 años de cuatro unidades. En Europa, países como Suiza, Bélgica, Suecia, Reino Unido u Holanda están operando centrales más allá de los 40 años; y la lista continúa ampliándose. La LTO es, pues, una realidad internacional del sector nuclear.



La Comisión Europea estima que la LTO va a requerir inversiones de más de 38.000 M€ en los próximos 15 años.⁶

La LTO es una decisión técnica, pero es una opción con atractivo económico mayor para los países que tienen centrales nucleares en operación frente a la construcción de nuevas plantas. Por otra parte, la LTO es una garantía para cumplir los compromisos para reducir las emisiones de GEI.

El objetivo principal de las actividades que se realizan para la LTO es asegurar que las estructuras, sistemas y componentes van a mantener su capacidad para realizar su función de seguridad, en el caso de que este periodo se prolongue.

Las empresas españolas y sus expertos están técnicamente capacitados para afrontar este desafío en España, y a nivel internacional, como lo viene demostrando el desarrollo de multitud de proyectos en el amplio terreno de la gestión del envejecimiento y la extensión de vida, en nuestras centrales y en otros países. Se puede afirmar que en España existen capacidades probadas para abordar con garantías los proyectos de LTO, donde se plantean constantemente retos tecnológicos por resolver.

Dentro de esta iniciativa hay tres bloques principales en los que se clasifican cada una de las actividades que componen la **ITP-I.2**: 1) identificación de las necesidades; 2) desarrollo de nuevos productos y

⁶ Staff Working Document (2016) 102

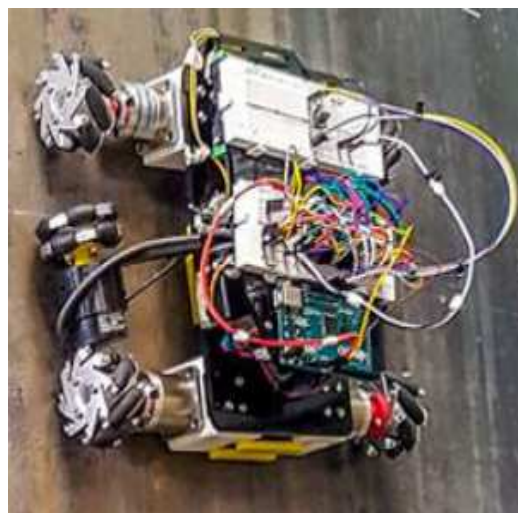
servicios; y 3) implementación. Cada una de ellas consiste, en sí misma, en un conjunto de proyectos con oportunidades asociadas de desarrollo de negocio y que a continuación se referencian.

1) Identificación de necesidades

- Análisis de experiencia operativa y lecciones aprendidas
- Análisis de normativa y requisitos regulatorios
- Identificación y análisis de nuevos mecanismos de envejecimiento de ESC
- Análisis de envejecimiento en función del tiempo (TLAA, por sus siglas en inglés)
- Identificación y priorización de actividades de mantenimiento, inspección, pruebas y vigilancias
- Evaluación y mejora de las prácticas de mantenimiento, inspección, pruebas y vigilancias
- Gestión de la renovación de las licencias de operación
- Necesidades de modernización de las instalaciones
- Estrategias de mitigación del envejecimiento y sustitución de componentes
- Gestión de grandes activos y optimización de inversiones a largo plazo
- Nuevas filosofías de operación: operación flexible y seguimiento de carga
- Optimización de procesos mediante el uso de nuevas tecnologías de comunicación

2) Desarrollo de productos

- Fabricación de nuevos componentes y gestión eficiente de repuestos
- Desarrollos de nuevos equipos para el mantenimiento e inspección de las plantas
- Desarrollo del Plan Integrado de Evaluación y Gestión del Envejecimiento (PIEGE)
- Desarrollo de programas de gestión de envejecimiento a largo plazo
- Desarrollo de nuevas herramientas para la gestión de la vida de ESC y la operación flexible
- Nuevas tecnologías de comunicación Wireless y 3D para la mejora de procesos



3) Implementación

- Implantación del PIEGE
- Implantación de programas de gestión de envejecimiento a largo plazo
- Revisión de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF) y del Estudio de Seguridad (ES) de las instalaciones
- Modificaciones de diseño y sustitución de componentes críticos
- Ejecución de los programas de vigilancia y mantenimiento de ESC
- Modernización de la I&C y cableado
- Implantación de nuevas tecnologías de comunicación para la mejora de procesos

La realización de estos proyectos va a requerir, no solo la utilización de los conocimientos y tecnologías ya existentes, sino el desarrollo y aplicación de nuevos conocimientos y nuevos desarrollos tecnológicos que van a colaborar al mantenimiento de la industria española en la vanguardia de este sector.

ITP-I.3, Nuevas Capacidades Tecnológicas

De forma independiente a la decisión sobre la extensión de la operación de los reactores españoles más allá de los 40 años, se están ejecutando programas de actualización y modernización de estas plantas. Las modificaciones están asociadas a la revisión continua de los estándares de seguridad de las centrales nucleares y a la subsecuente mejora de las mismas o a la obsolescencia natural de los equipos, como en cualquier instalación industrial. También existe una necesidad derivada de la voluntad de ser más eficientes para concurrir en un mercado eléctrico cada vez más competitivo. Dentro de estas necesidades se enmarcan importantes mejoras tales como la capacidad de regular carga o el desarrollo de nuevos combustibles con mayor resistencia al accidente.

Por otra parte, parece natural aplicar las ventajas de las nuevas tecnologías (en particular, de las tecnologías digitales) a los sistemas de nuestras plantas nucleares, que fueron diseñadas con tecnologías más antiguas. La migración a sistemas de tecnología digital (fundamentalmente, de los sistemas de I&C y de gestión de la información) en centrales nucleares supone un reto tecnológico, y también un reto regulador, porque los estándares aplicables deben ser revisados. También debe prestarse atención a las oportunidades que brindan los nuevos materiales (grafeno, nanomateriales) para su aplicación en centrales nucleares.

Se identifica así una necesidad importante de nuevos productos y servicios derivados de la aplicación de las nuevas tecnologías a diversas áreas de operación de la planta, ya sea de nueva construcción o en operación.

La identificación de las inversiones prioritarias para la modernización y de los nuevos riesgos que habrá que evitar o minimizar, el desarrollo de nuevos entornos y equipos que permitan hacer frente a estos retos y la implementación exitosa de éstos son el principal desafío de esta **ITP-I.3**. Para afrontarlo, se ha definido una hoja de ruta a partir de las siguientes consideraciones principales, que determinan las actividades a desarrollar.

i) identificación de necesidades en:

- Transición a los conceptos de planta digitales
- Adaptación de las plantas a los nuevos estándares de seguridad
- Búsqueda de la optimización de la eficiencia de las plantas

ii) desarrollo de nuevos productos y servicios en:

- Modernización de salas de control
- Desarrollo de nuevas salas de control
- Sistemas avanzados de ayuda a la operación
- Sistemas de monitorización de eficiencia de las instalaciones
- Incremento de alcance de los simuladores asociados a estos cambios
- Herramientas de realidad virtual y 3D
- Capacitación en materia de ciberseguridad
- Transición del modelo de gestión basado en documentos a un modelo de gestión basado en datos (modelo datacéntrico)



- Capacidad de regulación de carga
- Nuevos combustibles con mayor resistencia al accidente
- Utilización de nuevos materiales

iii) implantación de estas nuevas capacidades tecnológicas, donde hay temas de vital importancia que habrá que considerar:

- La utilización de simuladores de alcance para analizar y validar la realización de estos cambios
- La formación y capacitación del personal en este nuevo entorno tecnológico adaptada a las nuevas tecnologías y a la demanda generacional
- La monitorización en tiempo real que permita garantizar una operación segura y una estimación precisa y fiable del coste asociado a la producción

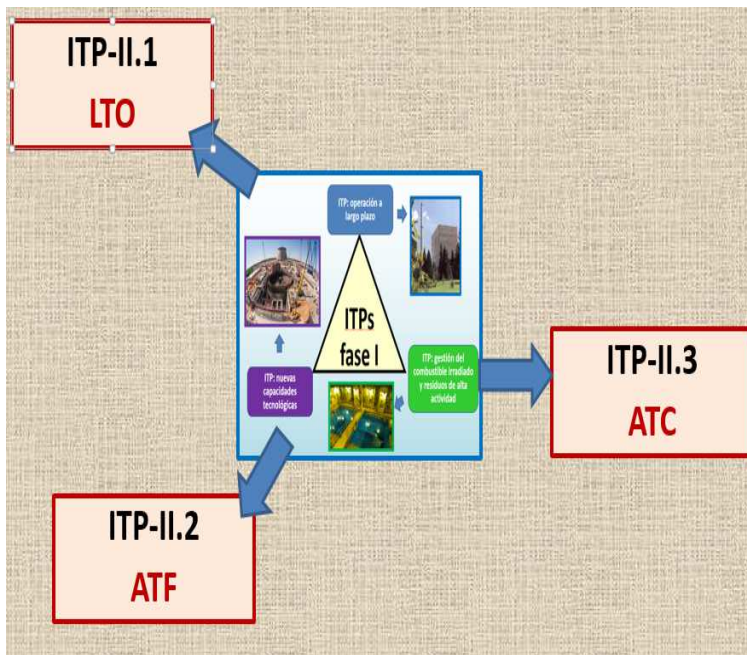
El despliegue de las **ITP-I**, de acuerdo con las indicaciones establecidas por ALINNE, requiere la realización de análisis tipo DAFO de cada iniciativa, lo que ha ayudado a valorar su viabilidad y a enfocar su definición y desarrollo. A título de ejemplo, se reproduce el cuadro resumen del análisis DAFO de la **ITP-I.3**.

	Fortalezas	Debilidades
Análisis interno	<ul style="list-style-type: none"> • Industria nuclear española cubriendo toda la cadena de valor • Experiencia nuclear • Trabajo en entorno altamente regulado • Importancia concedida a la cultura de seguridad • Trabajos procedimentados • Experiencia, sistemas y/o conocimientos de diversas nuevas tecnologías aplicables a la operación de centrales nucleares • Metodología de estrategia de modernización de los sistemas de I&C • Uso de los simuladores para apoyo en desarrollos y pruebas 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de tecnólogos en España • En algunos de los temas necesarios hay poca experiencia práctica (p.e., <i>Data Centric Configuration Management</i>)
	Oportunidades	Amenazas
Análisis externo	<ul style="list-style-type: none"> • La descarbonización • El agotamiento de los recursos naturales • La independencia energética • El coste del combustible • La seguridad del abastecimiento • El incremento de la demanda energética • Se prevé que gran parte del parque nuclear en operación vaya a LTO 	<ul style="list-style-type: none"> • Incertidumbre política • Falta de estabilidad jurídica • Tasas Impositivas • Competidores: ingenierías de planta apoyados por tecnólogos u otras ingenierías extranjeras con experiencia

5.2 Iniciativas Tecnológicas Prioritarias fase II (ITP-II)

Las **ITP-I** de enfoque general presentadas en julio de 2017 fueron valoradas positivamente por los expertos de ALINNE, que reconocieron la solidez con que están sustentadas y el potencial beneficio que pueden aportar en términos de contribución al PIB y de empleo cualificado. Sin embargo, los expertos observaron que del ejercicio de las ITP se espera también que se planteen proyectos concretos con resultados (productos) claramente identificados que tengan valor comercial y un mercado potencial.

Estos comentarios de ALINNE marcaron el punto de partida de las **ITP-II**. Ello básicamente consistió en que el grupo de trabajo CEIDEN que elaboró las **ITP-I** (constituido por expertos de CIEMAT, CSN, ENDESA,



ENRESA, ENSA, ENUSA y TECNATOM) se pusiera en marcha de nuevo para desarrollar las líneas directrices definidas en dichas **ITP-I**, estableciendo en torno a cada una de esas iniciativas un conjunto de proyectos de I+D+i y desarrollos tecnológicos, interrelacionados y coherentes entre sí, con un horizonte temporal y una estimación de inversiones necesarias suficientemente precisos, que demostrasen la viabilidad de traducir el potencial en realidades tangibles.

Así, estas **ITP-II** están concebidas y diseñadas a partir de líneas de I+D y desarrollo tecnológico, programas, proyectos y actividades que ya están en marcha o previstas en las principales

entidades del sector nuclear español. Se trata, por tanto, de un ejercicio que enlaza el presente con el futuro; y, por tanto, la factibilidad de estas ITP queda demostrada por esta misma circunstancia.

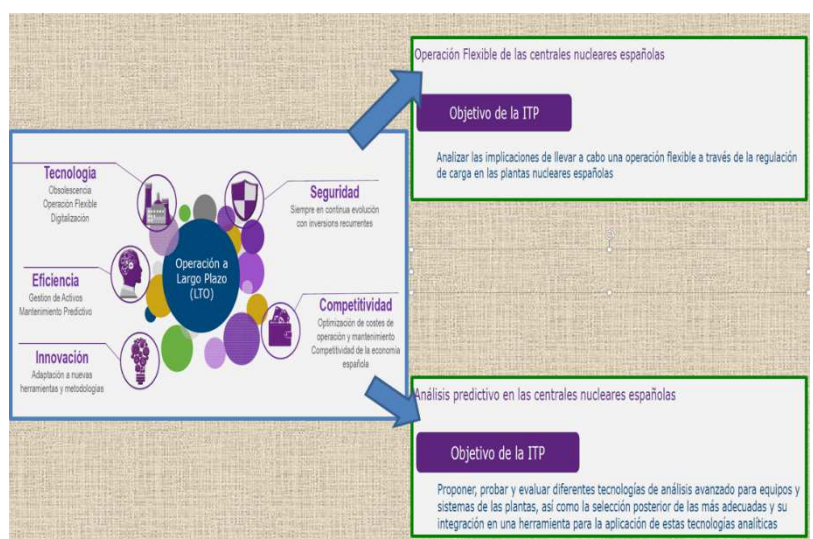
A continuación se resumen las tres **ITP-II**.

ITP-II.1, Operación a Largo Plazo (LTO)

Bajo el paraguas de dos de las **ITP-I** (**ITP-I.2, operación a largo plazo**, e **ITP-I.3, nuevas capacidades tecnológicas**), se han desarrollado dos grandes proyectos estratégicos que configuran esta nueva ITP:

1 operación flexible de las centrales nucleares españolas, para permitir una penetración cada vez mayor de energías renovables; en este contexto, el proyecto asociado a la **ITP-II.1** tiene por objeto analizar las implicaciones de la transición a la operación flexible de las centrales

2 análisis predictivo en las centrales nucleares españolas, para permitir la monitorización continua de los sistemas de las plantas, mejorando rendimientos y optimizando recursos, de acuerdo con principios tecnológicos industria 4.0 y big data; el objetivo específico del proyecto asociado a la **ITP-II.1** es proponer, probar y evaluar diferentes tecnologías de análisis avanzados para equipos y sistemas, y seleccionar las más adecuadas, integrándolas en una herramienta

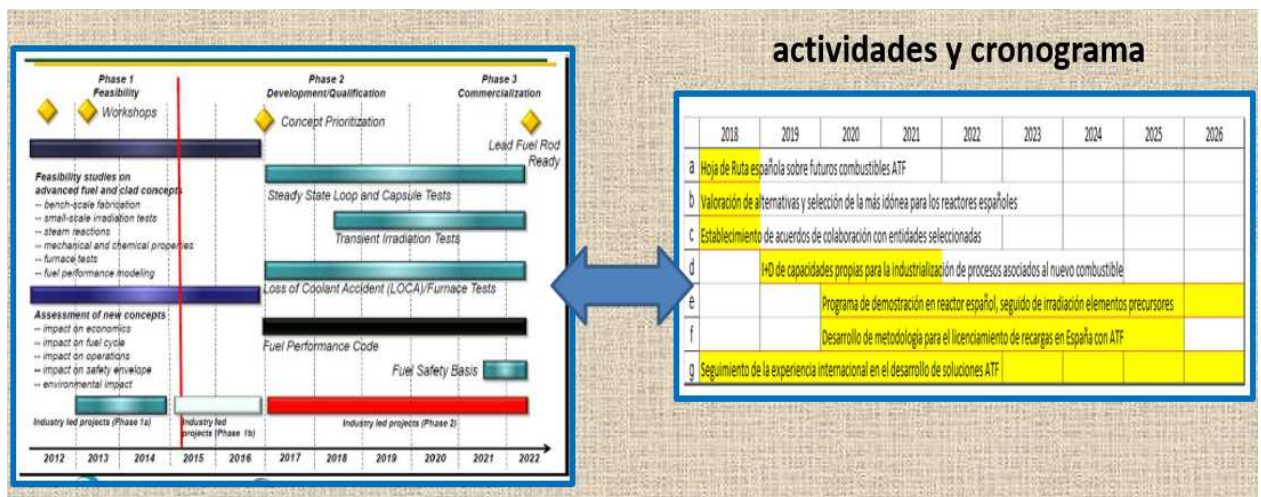


ITP-II.2, Combustibles con alta resistencia a los accidentes (ATF)

En el terreno del combustible nuclear, un componente estratégico del sector nuclear español, se ha definido esta ITP, que se separa parcialmente de la temática de la **ITP-I.1, Gestión del combustible irradiado y de los residuos radiactivos de alta actividad**.

El objetivo de la **ITP-II.2** es dotar a las centrales nucleares españolas de combustible con resistencia ante accidentes significativamente superior a la actual, en consonancia con el estado de arte de la industria. Se trata, en esencia, de que España participe activamente en los desarrollos que se están llevando a cabo en el campo de este tipo de combustible (ATF, por sus siglas en inglés) a nivel mundial, pudiendo aprovechar los beneficios comerciales que dichos desarrollos proporcionarán a las entidades que los realicen.

Se ha trazado un plan con un horizonte temporal hasta 2026, en el que se contemplan siete actividades dentro del alcance de un proyecto integrado y se han estimado plazos e inversiones necesarias para cada actividad.



ITP-II.3, Proyectos estratégicos para la optimización del Almacén Temporal Centralizado (ATC)

Esta ITP encaja plenamente en la temática de la **ITP-I.1, Gestión del combustible irradiado y de los residuos radiactivos de alta actividad**. CEIDEN, consciente de la importancia estratégica para la I+D+i del ATC, tanto como instalación singular y en muchos aspectos novedosa (y que, por tanto, demanda actividades de I+D+i para garantizar o reforzar diversos aspectos de su operación segura), como por su condición de infraestructura de I+D+i en sí misma (fundamentalmente, por las celdas calientes que se construirán en el Centro Tecnológico Asociado, CTA), ha recogido en esta **ITP-II.3** cinco proyectos estratégicos cuyos objetivos son apoyar la operación normal y a largo plazo de la instalación.

Los proyectos en cuestión son los siguientes:

- modelo hidrogeológico detallado del emplazamiento
- estimación de la vida útil y monitorización de la estructura de hormigón armado
- gestión de vida de los pozos de almacenamiento
- corte de la tapa soldada de los contenedores en ambiente de alta radiación
- caracterización de propiedades del combustible BWR irradiado significativas respecto a su comportamiento en condiciones de almacenamiento y transporte



Finalmente, a modo de resumen, se presenta en una tabla los datos básicos de los proyectos y actividades asociados a las ITP-II.

Debe aclararse que las estimaciones en cuanto a las inversiones necesarias, corresponden, en general, a las primeras etapas de desarrollo de los proyectos; por tanto, las inversiones totales previstas para el desarrollo completo de estas ITP-II serían notablemente superiores a los valores de la tabla.

ITP	proyecto / actividad	duración estimada (años)	inversión estimada (M€)
LTO	operación flexible	2	0,75
	análisis predictivo	2	1,3
ATF	hoja de ruta	1	entre 10 y 12
	selección de la alternativa idónea	1	
	acuerdos de colaboración con partners seleccionados	1	
	proyectos I+D+i de desarrollo de capacidades propias para industrialización de procesos asociados	3	
	programa de demostración en reactores españoles	7	
	desarrollo de metodología de licenciamiento de recargas	6	
	seguimiento de experiencia internacional	(acción continua)	
ATC	modelo hidrogeológico del emplazamiento	3	0,18
	estimación de vida útil y monitorización del hormigón	4	0,38
	gestión de vida de los pozos de almacenamiento	4	0,45
	corte de la tapa de los contenedores con alta radiación	pendiente	2,6
	caracterización del combustible BWR irradiado	4	1,5
INVERSIÓN TOTAL ESTIMADA			entre 17 y 19 M€

6. Barreras y soluciones



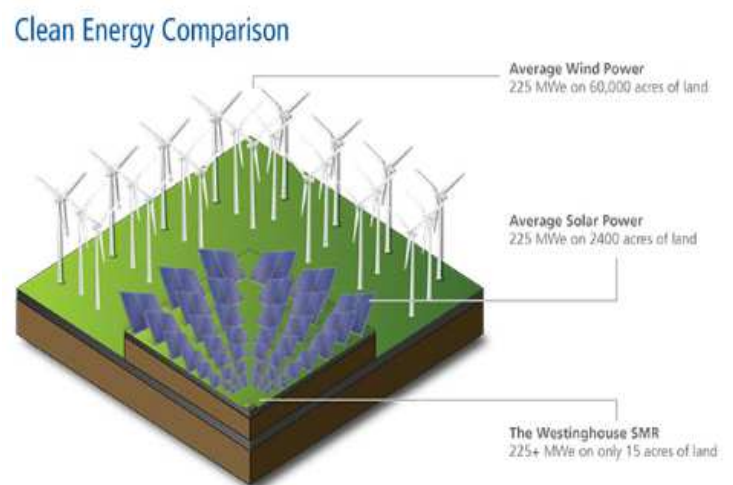
De acuerdo con el esquema propuesto por ALINNE para abordar el desarrollo del criterio 6, se ha considerado oportuno concluir este documento con un breve análisis de las barreras que se plantean al sector nuclear español para afrontar los retos tecnológicos y desarrollar las iniciativas tecnológicas que se han expuesto en los apartados anteriores; así como de las fortalezas y soluciones que pueden ayudar a superar estas dificultades.

En primer lugar, cabe comentar las barreras al desarrollo y mantenimiento de la energía nuclear en general, antes de entrar en los aspectos relacionados con la I+D+i y el desarrollo tecnológico.

Una de las principales dificultades es la escasa aceptación social de la energía nuclear. Es conocido que la posibilidad de ocurrencia de un accidente grave y la problemática asociada a la gestión de los residuos radiactivos son los aspectos que producen mayor rechazo en determinados sectores de la sociedad. También es conocido que la aceptación es mucho mayor en la zona de influencia de las centrales nucleares que en el resto del territorio. La adecuada comunicación de las ventajas, riesgos (y medidas de prevención y mitigación asociadas) de la energía nuclear, frente a otras opciones, es un reto histórico para este sector, y de manera particularmente importante en nuestro país. Las instituciones, empresas y organizaciones sectoriales son plenamente consciente del desafío que esto supone y están dedicando mayores, mejores y más modernos recursos y canales de comunicación para mejorar la percepción social de la energía nuclear. Un aspecto en el que debe insistirse es en la ausencia de emisiones de GEI, dada la preocupación que suscita el calentamiento global.

Desde CEIDEN también se trata de apoyar estas iniciativas y, especialmente, de profundizar en el conocimiento de las fenomenologías que intervienen en la percepción social acerca de la energía nuclear. Para ello se ha puesto en marcha el grupo de estudios sociotécnicos, que trata de difundir las actividades de universidades y centros de investigación en estos aspectos, y de realizar seguimiento y apoyo a las actividades y proyectos en este terreno a nivel internacional, en especial dentro de la UE.

Una línea de trabajo en que debe profundizarse es la difusión de la energía nuclear en términos positivos, poniendo de relieve las evidentes ventajas de esta tecnología. Y, centrándose en el terreno tecnológico, destacar el atractivo de los grandes retos y actividades de investigación e innovación que conlleva.



En el contexto europeo, es de destacar que tanto la percepción social como el posicionamiento gubernamental sobre de la energía nuclear son muy diversos; conviven países declaradamente antinucleares con otros que están abiertos y favorecen la LTO, la construcción de nuevas centrales, o el

inicio de un programa nuclear. El hecho de que pese a estas posiciones tan distintas la energía nuclear continúe en desarrollo en Europa (aunque en menor escala que en otras regiones del mundo actualmente) debe ser un estímulo para continuar impulsando el aumento de la aceptación de esta fuente de electricidad en nuestro país. Esta aproximación optimista debe estar sustentada, también, en la garantía para el mantenimiento y refuerzo de la seguridad nuclear que supone la normalización de los estándares de seguridad europeos (niveles de referencia), las nuevas Directivas que homogeneizan y mejoran la seguridad y la gestión segura de los residuos radiactivos (en especial, la *Directiva sobre seguridad nuclear*⁷ y la *Directiva sobre Gestión Responsable del Combustible Gastado y de los Residuos Radiactivos*⁸).

En estos terrenos deben ponerse en valor también, a escala internacional, las Convenciones que organiza cada 3 años la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA), en las que nuestro país participa y donde recibe excelentes valoraciones, además de recomendaciones para mejorar, que oportunamente se ponen en marcha (aparte de las misiones internacionales de revisión por pares, como las misiones IRRS-ARTEMIS que se mencionan en el apartado 4).

Otra importante barrera es la incertidumbre política, que incide en la toma de decisiones empresariales, derivada de la ausencia de una planificación energética nacional a largo plazo. Esta incertidumbre afecta de forma especial a la energía nuclear, fruto de los posicionamientos extremos, ambiguos o cambiantes, que se producen en torno a esta fuente energética en los diferentes partidos políticos y agentes sociales. Frente a esta dificultad, poco puede hacer el sector nuclear, excepto promover el diálogo de los partidos políticos con los agentes involucrados, evitando apriorismos, y el establecimiento de una planificación energética que permita a las empresas establecer hojas de ruta viables, en función de las cuales focalizar adecuadamente los esfuerzos y las líneas de I+D+i y desarrollo tecnológico prioritarias.

La internacionalización de gran parte de las entidades del sector nuclear español, iniciada en los 90' y que no ha dejado de aumentar desde entonces, constituye un mecanismo de defensa del sector ante estas incertidumbres, abriendo las posibilidades de mercado, cooperación y desarrollo tecnológico a aquellos países y regiones donde se produce crecimiento o desarrollo de la energía nuclear. Desde CEIDEN se apoya esta internacionalización a través de diferentes líneas de actuación.

La tercera gran barrera, o desafío, tiene que ver con los aspectos económicos y financieros. Según se reconoce en el reciente informe del MIT citado en el apartado 1, la gran oportunidad para la supervivencia de la energía nuclear es la descarbonización. Y el gran reto, hacer que los costes de construcción y operación sean competitivos. Además, la opción nuclear pierde atractivo frente a otras fuentes de energía porque se requieren fuertes inversiones con mucha antelación respecto

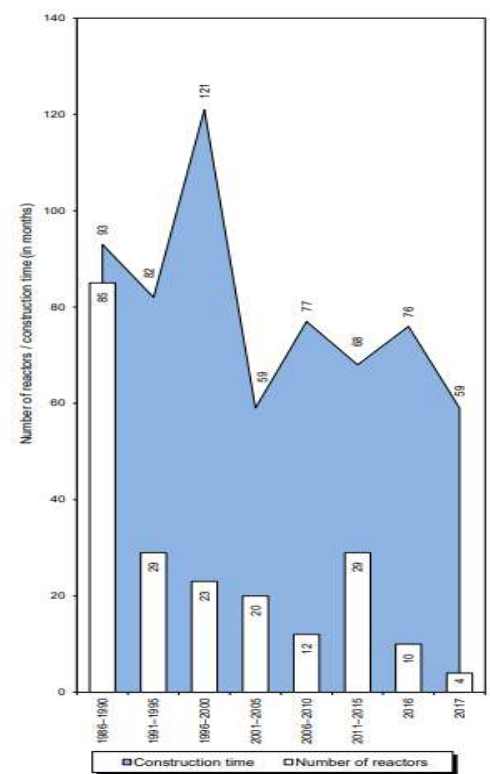


Figure 4. Worldwide median construction time in months (as of 31 Dec. 2017).

⁷ Directiva 2014/87/EURATOM del Consejo, de 8 de julio de 2014, por la que se modifica la Directiva 2009/71/Euratom, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares

⁸ Directiva 2011/70/EURATOM del Consejo, de 19 de julio de 2011, por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos

al inicio de la explotación de las centrales, a consecuencia del periodo relativamente largo que conlleva el proceso de diseño, construcción y puesta en marcha de una central nuclear; esta circunstancia es especialmente desfavorable en situaciones de crisis o inestabilidad económica.

En este sentido, debe dedicarse grandes esfuerzos a mejorar la eficiencia de las plantas nucleares desde el punto de vista de costes. Esta necesidad supone, a su vez, una gran oportunidad de desarrollo tecnológico, al requerir soluciones innovadoras para reducir costes en todos los procesos, preferentemente mediante la aplicación de nuevas tecnologías (lo cual queda reflejado en las ITP del sector). En cuanto a los plazos para la puesta en marcha de las centrales, una de las líneas en las que se está trabajando es la estandarización de los diseños, y también de las metodologías y procesos de licenciamiento, para reducir tiempos, costes e incertidumbres en estos procesos. En este aspecto, es una gran ventaja la implicación directa del organismo regulador, CSN, en CEIDEN.

Pasando ya al terreno de la I+D+i y del desarrollo tecnológico, una de las barreras que se identifican para muchas iniciativas innovadoras es la de la regulación; es decir, las dificultades para lograr la autorización reguladora a la implantación de soluciones con alto componente de innovación. Ello es aparentemente más problemático en una actividad tan regulada y donde la seguridad es un factor tan sensible y tan crítico como el de la producción de energía nuclear. De hecho, en este documento se identifica algún ejemplo al respecto (utilización de nuevos materiales).

En el sector nuclear español hay varias acciones implantadas que tienden a mitigar o minimizar las dificultades de esta naturaleza. Por una parte, la estrecha colaboración entre regulador (CSN) e industria en el desarrollo y aprobación de soluciones ante los problemas y retos que se plantean en el terreno de la seguridad nuclear. Esta colaboración se traduce en la optimización de procesos de licenciamiento de nuevas soluciones tecnológicas, frecuentemente apoyados por la elaboración de guías y documentos técnicos conjuntos. También la cooperación internacional, que se promueve en el ámbito de CEIDEN, contribuye a optimizar y agilizar la aceptación de nuevas tecnologías y metodologías en aspectos de seguridad, mediante el intercambio de conocimientos, experiencia y juicio de expertos a nivel internacional. En este sentido, son muy interesantes las actividades de los comités de la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE (OECD/NEA, por sus siglas en inglés)⁹; y, a escala europea, la actividades de la plataforma NUGENIA, dedicada a la innovación en los reactores actualmente en operación comercial (generación II y III), el foro de mayor interés para las plantas españolas¹⁰.



NUGENIA WELCOMES CEIDEN AS A NEW HONORARY MEMBER

26 April 2018

The 7th NUGENIA General Assembly that took place in Prague on ...

[Read more](#)

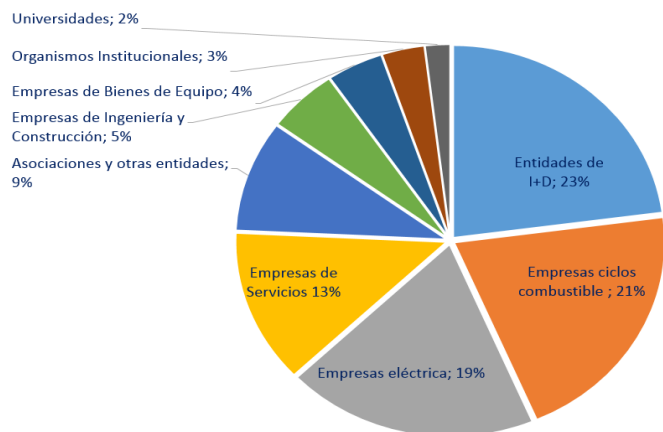
⁹ CSN, MITECO, la Presidenta y el Secretario General de CEIDEN y diversas entidades españolas participan activamente en estos comités

Otra barrera al desarrollo de actividades de I+D+i, por otra parte bastante común en este ámbito, son las dificultades para contar con medios e instrumentos de ayuda financiera. Podía suponerse, además, que en el sector nuclear, la ausencia de proyectos de construcción en España y las situaciones de crisis o inestabilidad económica pueden agravar este problema.

En efecto, el sector nuclear español ha sufrido y sufre esta problemática, pero ha sabido mantener, en buena medida, sus actividades de I+D+i, incrementando la colaboración. La internacionalización del sector, tantas veces mencionada, es especialmente importante, y tiene ya una larga tradición, en el terreno de la investigación. En el campo de la energía nuclear, la I+D resulta especialmente costosa, sobre todo cuando requiere la realización de ensayos en reactores de investigación, en grandes instalaciones, y/o sobre materiales irradiados o contaminados. Ello ha obligado a emprender proyectos colaborativos, en general a nivel internacional, a compartir e intercambiar resultados, a compartir el uso de infraestructuras, etc. Como consecuencia de ello, se consigue desplegar una notable actividad investigadora, y llevar a cabo ambiciosos programas de ensayo con inversiones de cuantías moderadas, a nivel de cada organización participante. A partir de los resultados de programas de I+D colaborativos, cada organización asociada puede realizar sus propios desarrollos tecnológicos. En este esquema colaborativo, el papel de la plataforma CEIDEN es fundamental.

Cantidades aportadas según la naturaleza de la entidad

Las inversiones en I+D+i de las entidades españolas, su origen y evolución, ha sido un tema considerado clave por CEIDEN, que ha realizado diversos análisis comparativos de las inversiones entre sus miembros a lo largo de diferentes ejercicios anuales. De dichos análisis se han extraído conclusiones valiosas que refuerzan la idea de que en este aspecto las entidades del sector mantienen una posición sólida y estable.



Las principales conclusiones obtenidas son:

- el volumen total de inversión en I+D+i se ha mantenido prácticamente constante desde el inicio de estos análisis (año 2012), pese a la crisis económica y a la situación de incertidumbre que atraviesa el sector
- la mayor parte de las inversiones (entre el 70 y el 80 %) provienen de recursos propios de las entidades; el resto se reparte entre ayudas de procedencia nacional y ayudas de procedencia internacional (básicamente, europeas); ello se interpreta, por una parte, como una fortaleza, en el sentido del compromiso de las entidades con la I+D+i y la disponibilidad de recursos económicos para desarrollar proyectos; pero también como una advertencia de que las entidades del sector deben tratar de aprovechar en mayor medida las ayudas que ofrecen las instituciones españolas y europeas (ello se traduce en una de las líneas de actuación prioritarias de CEIDEN, en la que ya se han observado progresos)
- los resultados de los análisis llevados a cabo por CEIDEN, en cuanto a volumen total de inversión, son consistentes con un estudio independiente realizado por la consultora Price Waterhouse Coopers (pwc)

¹⁰ varias entidades españolas con actividad en I+D+i y desarrollo tecnológico son miembros de NUGENIA desde los inicios de la plataforma; desde 2018, CEIDEN es miembro honorario de NUGENIA y participa en la secretaría, liderando dos áreas de trabajo

En cuanto a los medios e instrumentos nacionales e internacionales disponibles para apoyar la financiación de la I+D+i, se detallan en la presentación general del ejercicio APTE 2017-2018, en lo que concierne al criterio 7.

Frente a estas barreras y dificultades identificadas y discutidas, junto con las presentes y posibles soluciones o contramedidas para afrontarlas, se considera importante enumerar lo que se considera grandes fortalezas del sector nuclear español, desde el punto de vista de su potencial para conseguir el objetivo de mantener e incrementar el alto grado de desarrollo tecnológico logrado a lo largo de décadas.

- La principal ventaja de la energía nuclear es, sin lugar a dudas, su carencia de emisiones de GEI. El parque nuclear español evita la emisión a la atmósfera de unas 40 Mt de CO₂ por año, de acuerdo con los estudios más recientes. Esto equivale a las emisiones de cerca de 20 millones de automóviles, equivalentes a todas las que genera el parque automovilístico. En 2017 un 55 % de la generación de electricidad fue libre de emisiones, y de ella el 40 % fue de origen nuclear. Ello debe ser el principal motor que impulse el sector en los próximos años, y por supuesto, las actividades de investigación y desarrollo tecnológico deben beneficiarse en la misma medida
- En el sector nuclear la seguridad es la mayor prioridad. Conseguir una alto grado de seguridad y mejorar constantemente en este terreno, donde la sociedad exige los más altos estándares, implica grandes y continuas necesidades de ampliar conocimientos e implantar nuevas metodologías y nuevas soluciones, lo que es una fuente de demanda de I+D+i y desarrollo tecnológico muy importante, inherente al sector
- La internacionalización del sector nuclear español, iniciada hace décadas, y en continuo incremento, aparte de ampliar las capacidades y el radio de acción de nuestras empresas, hace al sector particularmente resistente y versátil, y en especial en el terreno de la I+D+i y el desarrollo tecnológico
- Claridad en la identificación y priorización de los retos tecnológicos
- Capacidad para desarrollar iniciativas tecnológicas a partir de los retos tecnológicos, y de hacerlo de una forma coordinada y cooperativa entre las diferentes entidades
- Carácter transversal de muchos de los retos tecnológicos identificados, lo que permite colaborar con otros sectores y aprovechar las sinergias
- Alto grado de coordinación sectorial, articulado, en el terreno de la I+D+i, por la plataforma tecnológica CEIDEN
- CEIDEN se ocupa también de coordinar e impulsar las actividades en educación, formación y gestión del conocimiento, para contribuir a mejorar la oferta educativa y de formación especializada, la atracción de talentos al sector nuclear y la gestión del relevo generacional



- Fuerte implicación del organismo regulador en seguridad nuclear (CSN) en I+D, tanto a través de la participación y apoyo a programas de investigación específico como en la coordinación del sector (presidencia y participación activa en CEIDEN)
- Fuerte presencia e implantación internacional del sector tecnológico español a nivel de relaciones institucionales y de cooperación, coordinado por CEIDEN
- Coordinación con las organizaciones de desarrollo tecnológico (plataformas tecnológicas) de otros sectores, tanto del ámbito energético como de otros sectores de interés

7. Resumen y conclusiones

Muy brevemente se resumen las conclusiones de este análisis realizado para explicar la coherencia tecnológica del sector nuclear español.

1. En el plano internacional, hay actualmente un importante programa de construcción de nuevas centrales en el mundo, con un muy importante volumen de inversiones previsto. Por otra parte, la operación a largo plazo es una tendencia generalizada en todo el mundo, lo que supone una importante fuente adicional de inversiones y de necesidades de desarrollo tecnológico. Sin embargo, la energía nuclear de fisión se encuentra en una encrucijada, producto de la combinación de factores favorables y desfavorables a su continuidad y desarrollo. En este contexto complejo, a las tradicionales ventajas de esta tecnología de generación (producción a precios competitivos, contribución a la garantía de suministro, y aportación de estabilidad a la red de distribución), se suma su ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que la posiciona muy favorablemente desde el punto de vista del cumplimiento de los objetivos medioambientales, junto con la tendencia a la electrificación de la economía
2. Se ha realizado un análisis de la situación mundial, destacando las grandes diferencias entre unas y otras regiones. Con mayor detenimiento se ha analizado la situación en la UE, constatándose también un panorama muy diverso, donde, en cualquier caso, sigue existiendo un desarrollo nuclear más o menos sostenido. También se han analizado las perspectivas en cuanto a nuevos diseños de reactores y a otras nuevas tecnologías aplicables al mundo nuclear. Todo ello se traduce en notables necesidades y oportunidades de desarrollo tecnológico
3. Se ha analizado la situación actual en España. El parque de centrales nucleares en operación está compuesto por siete unidades que superan los 30 años de operación eficiente y segura, y que generan más del 20 % de la producción total de electricidad. Se considera el sector nuclear español como un sector sólido, que ha podido mantener e incrementar su nivel de competencia y sus capacidades tecnológicas a lo largo de décadas, internacionalizando sus actividades. Por otra parte, se destaca que este sector no se sostiene exclusivamente de la construcción de centrales nucleares, sino que también cuenta con un importante tejido de empresas e instituciones con capacidades, experiencia y actividad en terrenos tales como la fabricación de combustible nuclear, la fabricación de grandes equipos de clase nuclear, la inspección en servicio, la formación (incluyendo diseño, fabricación y operación de simuladores y desarrollo de tecnologías y métodos avanzados), entre otros; y sin olvidar la experiencia y know-how del organismo regulador y de la agencia nacional de gestión de residuos radiactivos, organizaciones de referencia a nivel internacional
4. Se ha analizado las perspectivas futuras en España, reconociendo el alto grado de incertidumbre. No se van a construir nuevas centrales a corto o a medio plazo. Hay incertidumbre sobre la fecha de cierre de las instalaciones existentes. CEIDEN ha considerado un escenario verosímil la extensión de vida hasta, al menos, los 50 años. El informe de la Comisión de Expertos de Transición Energética reconoce la necesidad de mantener la aportación de la energía nuclear, al igual que el panel de expertos del IPCC
5. Con estas perspectivas, la planificación estratégica en I+D+i y desarrollo tecnológico nuclear se enfoca en dos direcciones: a) a corto y medio plazo, dar soporte a la LTO del parque nuclear existente; y b) a largo plazo, realizar seguimiento y continuar participando en proyectos

internacionales relativos a los nuevos diseños de reactores. Adicionalmente, los procesos de desmantelamiento de las centrales en cese de operación y la restauración de los emplazamientos son grandes actividades con alto componente técnico y oportunidades de desarrollos tecnológicos importantes, donde España ocupa una posición privilegiada a nivel mundial. Finalmente, la gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado que debemos afrontar como país, incorpora importantes retos tecnológicos a los que debe darse respuesta

6. En el terreno de la I+D+i y el desarrollo tecnológico, siempre ha existido un mecanismo de coordinación de las actividades a escala nacional; actualmente lo constituye la plataforma CEIDEN. CEIDEN es la entidad coordinadora en I+D+i y desarrollo tecnológico, con capacidad para impulsar estos temas a escala nacional y de coordinarlos y apoyarlos en el plano internacional. El sector nuclear, por medio de CEIDEN, ha establecido una agenda estratégica clara, articulada en torno a los tres retos tecnológicos fundamentales (reto tecnológico **RT1**, Operación segura a largo plazo; reto tecnológico **RT2**: Gestión de los residuos radiactivos y del combustible gastado; y reto tecnológico **RT3**: Nuevos proyectos / nuevas tecnologías), que sirve de orientación a las actuaciones del sector. Se describen en detalle estos retos tecnológicos
7. La agenda estratégica del sector se despliega en programas y proyectos concretos que materializan el desarrollo tecnológico y se traducen en soluciones tecnológicas y productos comerciales. Las Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITP) propuestas por ALINNE en 2016, desarrolladas por CEIDEN para el sector nuclear, han permitido demostrar la capacidad del sector para ponerse de acuerdo y coordinarse en la definición y desarrollo de dichas iniciativas; así como para demostrar sus capacidades para generar líneas de trabajo y proyectos con coherencia tecnológica, partiendo de los propios retos, capacidades, actividades y proyectos ya en curso. CEIDEN ha elaborado dos conjuntos de ITP, en dos fases: las **ITP-I**, en la que se han establecido tres grandes líneas de desarrollo tecnológico, partiendo directamente de los retos tecnológicos **RT1**, **RT2** y **RT3**; y las **ITP-II**, en que se definen tres grandes programas de I+D+i y desarrollo tecnológico, que incluyen proyectos específicos de tecnología puntera y alto interés estratégico y comercial, nuevamente asociados a los retos tecnológicos del sector, pero con un grado de definición mucho mayor, con horizontes temporales, inversiones requeridas y productos esperados claramente establecidos
8. CEIDEN ha identificado las principales barreras que se plantean al sector nuclear español para afrontar los retos tecnológicos y desarrollar las iniciativas tecnológicas que se han previsto, así como las fortalezas y soluciones que pueden ayudar a superar estas dificultades. Se han analizado tanto las barreras al desarrollo y mantenimiento de la energía nuclear en general (aceptación social, incertidumbre política y los aspectos económicos y financieros), como las que conciernen a los aspectos relacionados con la I+D+i y el desarrollo tecnológico (barreras regulatorias, apoyos financieros a las inversiones en I+D+i)
9. Finalmente, se han puesto de manifiesto lo que se considera las grandes fortalezas del sector nuclear español, desde el punto de vista de su potencial para conseguir el objetivo de mantener e incrementar el alto grado de desarrollo tecnológico logrado a lo largo de décadas:
 - Contribución a los objetivos de clima de la energía nuclear
 - La seguridad nuclear como fuente de demanda de I+D+i y desarrollo tecnológico
 - La internacionalización del sector nuclear español
 - Claridad en la identificación y priorización de los retos tecnológicos
 - Capacidad para desarrollar iniciativas tecnológicas a partir de los retos tecnológicos, y de hacerlo de una forma coordinada y cooperativa entre las diferentes entidades
 - Transversalidad de muchos de los retos tecnológicos identificados
 - Alto grado de coordinación sectorial en I+D+i

-
- Coordinación e impulso a las actividades en educación, formación y gestión del conocimiento
 - Fuerte implicación del organismo regulador en la I+D
 - Fuerte presencia e implantación internacional a nivel de relaciones institucionales y de cooperación
 - Coordinación con otros sectores tecnológicos

FUENTES DE LAS FIGURAS

1. CEIDEN (elaboración propia)
2. CSN
3. ENRESA
4. ENUSA
5. FORO NUCLEAR (Foro de la Industria Nuclear Española)
6. Informe de la Comisión de Expertos de Transición Energética
7. IPCC
8. MATERPLAT
9. Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA)
10. Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP)
11. TECNATOM
12. Westinghouse

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON **climate change**

CLIMATE CHANGE 2014

Synthesis Report

