

La Plataforma Tecnológica Ceiden. Un esfuerzo colaborativo para promover la I+D nuclear en España

P. Carmena Servert

SECRETARIO GENERAL DE LA PLATAFORMA TECNOLÓGICA CEIDEN

La Plataforma Tecnológica de I+D de Energía Nuclear de Fisión, Ceiden, es una entidad para la coordinación de las necesidades y esfuerzos de I+D en el campo de la tecnología nuclear de fisión de todo el sector nuclear. Su labor permite plantear y abordar proyectos de forma conjunta por parte de las entidades que están afectadas por la problemática que pretenden resolver, y presentar una posición nacional única frente a las propuestas o los compromisos internacionales. En la Plataforma Ceiden están representados todos los sectores relacionados con la I+D nuclear en España y su ámbito de actuación comprende tanto las centrales actualmente en operación como los nuevos diseños de reactores.

The Spanish fission nuclear energy research and development Technological Platform, CEIDEN, is an entity aimed to coordinate the R&D needs and efforts related to fission nuclear technology in all the Spanish nuclear sector. Its activities are aimed to propose and develop joint projects by the partners that have to deal with similar problems and to present a single national position related to international proposals and compromises. All the Sectors related to the Spanish nuclear R&D are represented in the CEIDEN Technological Platform, that is involved both in plants in operation and future reactor designs.



PÍO CARMENA SERVERT

es ingeniero industrial por la Escuela de Madrid, especialidad Técnicas Energéticas. Inicio su vida profesional en Empresarios Agrupados en trabajos de protección radiológica de los proyectos de Almaraz, Trillo y José Cabrera. En 1986 se incorporó a la Dirección Nuclear de Unesa como jefe de la División de Protección Radiológica y Residuos. Desde 2000 trabaja en la Dirección General de Energía Nuclear de Endesa, desempeñando actualmente el cargo de subdirector de Análisis y Estudios de Operación, dentro de la Dirección de Negocio Nuclear. Entre 2008 y 2010 fue presidente de la SEPR. Durante el periodo 2007- 2009 fue el primer secretario general de la Plataforma Tecnológica Ceiden, cargo que ha retomado en 2011.

LA TECNOLOGÍA NUCLEAR Y LA I+D

La tecnología nuclear representa un ejemplo impresionante de desarrollo científico y tecnológico del ser humano. Efectivamente, se trata del descubrimiento y “domesticación” de una serie de fenómenos físicos, no espontáneos ni intuitivos. La estabilidad de la materia no había sido cuestionada durante toda la historia de la humanidad. Sin embargo, observaciones y estudios científicos en el siglo pasado permitieron intuir la posibilidad del proceso de fisión de núcleos pesados. Esta intuición se convirtió en realidad con el experimento de la pila de Fermi en 1942, en la Universidad de Chicago, que fue la primera reacción en cadena provocada por el hombre. A partir de ahí, un intenso desarrollo tecnológico permitió disponer de los primeros reactores comerciales para la generación de energía eléctrica en la década de 1950, sucediéndole diferentes pasos llamados *generaciones de reactores*. El la conocida Figura 1 se muestra la evo-

lución de las diferentes tecnologías de energía nuclear de fisión.

En este contexto, podemos calificar la tecnología nuclear en España como una tecnología madura pero en permanente actualización debido a las exigencias de mejora continua de la seguridad y de la eficiencia de las instalaciones, búsqueda de respuestas a los interrogantes que plantea la operación a largo plazo e incorporación de desarrollos de los nuevos modelos GEN III y III+, con los que convive.

En este contexto, las características de la I+D nuclear son las siguientes:

- **Colaborativa.** Participan todos los actores: empresas, reguladores, centros de I+D, universidades, etc. todos interesados en la mejora del conocimiento de los procesos asociados a la energía nuclear.
- **Entorno abierto.** La mejora continua de la seguridad induce al intercambio fluido de conocimientos entre los actores, ya que todos persiguen objetivos compatibles.
- **Internacional.** Colaboraciones habituales entre diferentes países y orga-

nismos. Existen entidades promotoras de I+D internacional, tales como EPRI, NEA, OIEA, Euratom, etc. que tienen un papel protagonista en la realización de proyectos de I+D.

- **Desarrollo de grandes proyectos de alto coste,** lo que obliga a la financiación multilateral e internacional.
- **Escenario multidisciplinar.** Disciplinas diversas, tales como física nuclear, materiales, electrónica, mecánica de fluidos, automatismos, etc., se combinan en la I+D nuclear.
- **Nuevas tecnologías.** Están en curso desarrollos innovadores tales como aquellos comprendidos en GEN IV, así como los trabajos asociados a las investigaciones de la transmutación y, con un horizonte más lejano, la fusión nuclear.

RETOS DE LA I+D NUCLEAR EN ESPAÑA

España es parte del sector tecnológico nuclear internacional por las capacidades existentes en nuestro país, fruto de la construcción de nuestras centrales en la década de 1970 y de su



Este artículo se ha realizado con las aportaciones de los miembros del Consejo Gestor del Ceiden y de los Responsables de Programas, a quien se agradece su colaboración.

Antonio Colino (presidente, CSN), Eduardo Serra (Endesa), Pedro Mata (IBD), Antonio Peñarubia (IBD), Julio Blanco (GNF), Pedro Ortega (GNF), Roberto Gonzalez (Enusa), Jose M. Alonso (Enusa), Álvaro Rodríguez (Enresa), Julio Astudillo (Enresa), Iñaki Azkarate (Tecnalia), Virginia Madina (Tecnalia), Enrique González (Ciemat), Ramón Gavela (Ciemat), Emilio Mínguez (UPM), Carolina Anherth (UPM), José A. Herrera (GNFE), Miguel Díaz Llanos (Acciona), Alfonso Álvarez-Miranda (Ensa), Eduardo González Mesones (Ensa), Juan Ortega (Tecnatom), José Román (Tecnatom), José M Conde (CSN), Carlos Castelao (CSN), Saleta Gonzalez-Escalada (Minetur), Irene Dovale (Minetur), Ana Mª Lancha (Míneco), Pilar Barreira (GNFE), José L. Delgado (Tecnatom), Marisa Marco (Ciemat), Miguel Embid (Ciemat), Edurado Gallego (ETSII/UPM), Diego Encinas (CSN) y Pío Carmena (secretario general, Endesa).

operación hasta la fecha. Estas empresas desarrollan, además, una intensa actividad en el mercado internacional basada, en muchos casos, en una especialización tecnológica derivada de programas de I+D propios y participación en los grandes programas internacionales. En este contexto, los retos actuales de la I+D nuclear se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Asegurar una mayor competitividad de nuestras empresas e instituciones, que las coloque en buena posición ante los retos que plantea el desarrollo actual de la industria nuclear.
- Fomentar sinergias en las iniciativas de I+D+i que ayuden a optimizar los recursos invertidos y a maximizar el retorno.
- Transmitir a la Administración y a las empresas españolas la idea de que el fomento de la I+D+i nuclear apoya a la exportación industrial española y a la operación a corto y largo plazo de nuestras centrales nucleares, en un nuevo modelo económico basado en el conocimiento.
- Conseguir un papel en la I+D+i internacional y en especial en el Horizonte 2020 europeo, acorde con nuestro nivel de desarrollo nuclear y nuestras capacidades, que permita incorporar a los agentes tecnológicos españoles en grandes proyectos internacionales y conseguir retornos de estos proyectos. Para esto es imprescindible el involucramiento de la Administración y las empresas españolas.
- Desarrollar capacidades humanas y de infraestructuras para dar res-

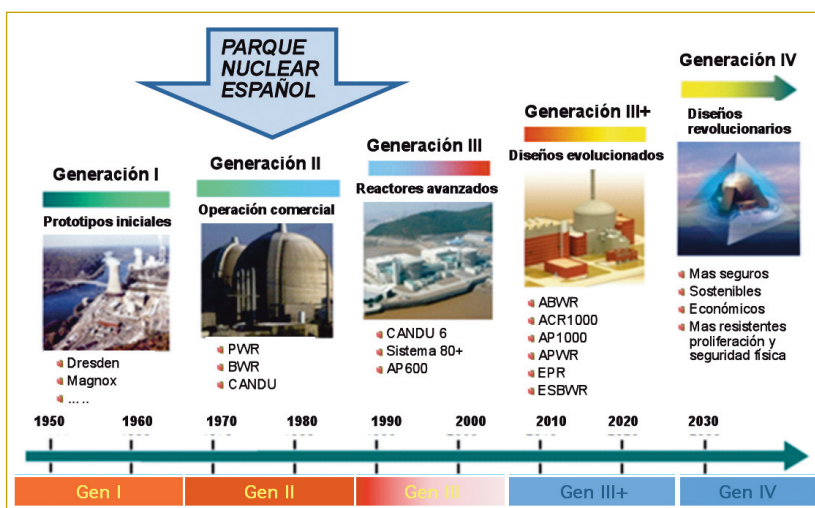


Figura 1. Evolución de de las diferentes tecnologías de energía nuclear de fisión.

puesta a los nuevos interrogantes que puede plantear la operación a largo plazo de nuestras centrales, y otros temas derivados de las pruebas de resistencia y el accidente de Fukushima.

- Prever soluciones al inevitable relevo generacional, que es una amenaza a nuestra capacidad tecnológica. Promover la formación y la capacitación utilizando la I+D+i como vivero de captación de profesionales.
 - Dar el apoyo tecnológico que sea necesario a la gestión de combustible gastado, su transporte y almacenamiento en el ATC, y a la orientación al centro tecnológico asociado.
- En este contexto, la Plataforma Tecnológica de I+D de Energía Nuclear de Fisión, Ceiden, es una entidad para

la coordinación de las necesidades y esfuerzos de I+D en el campo de la tecnología nuclear de fisión de todo el sector nuclear español.

LA PLATAFORMA TECNOLÓGICA CEIDEN

La existencia de Ceiden se remonta a hace más de 13 años. En 1999 el Ministerio de Industria crea el Comité Estratégico de I+D Nuclear (CEIDEN), con la participación del CSN, el sector eléctrico y los principales agentes implicados en el sector nuclear. Su objetivo era coordinar los diferentes planes y programas nacionales de I+D, así como la participación en los programas internacionales, para evitar duplicidades o carencias y optimizar la aplicación de los recursos

SECTOR	Miembros	SECTOR	Miembros
Empresas eléctricas	5	Ingeniería y construcción	21
Ciclo combustible	2	Bienes de equipo	5
Centros I+D	13	Servicios	15
Universidad	9	Administración	3
Otros	3	Miembros colaboradores	4

Tabla 1. Distribución de los miembros del CEIDEN por Sectores.



Figura 2. Estructura del CEIDEN y composición actual del Consejo Gestor.

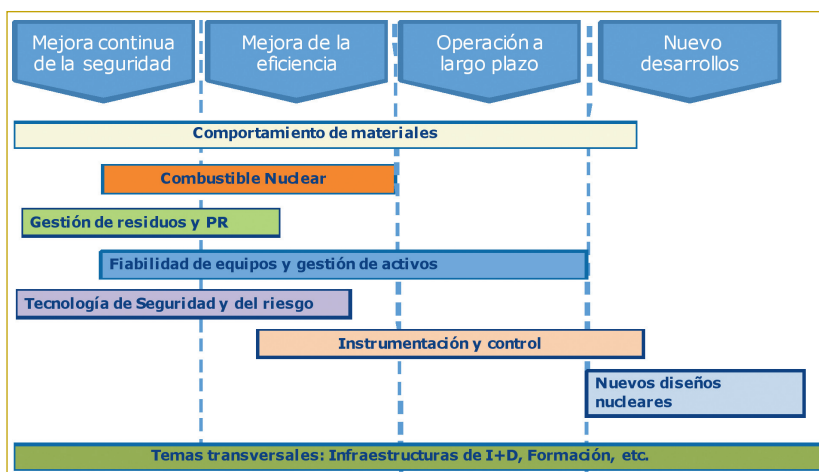


Figura 3.

disponibles, procurando orientar de forma coherente los esfuerzos de las entidades implicadas.

En el año 2007, este Comité se transforma en la Plataforma Tecnológica de I+D de Energía Nuclear de Fisión

Ceiden. En la PT Ceiden participan actualmente más de 80 entidades, que representan a todos los sectores relacionados con la I+D nuclear en España. La Plataforma cuenta con unos Estatutos, aprobados en la Asamblea

Constituyente celebrada el 24 de abril de 2007, donde se define Ceiden como una entidad sin personalidad jurídica propia, que realiza sus actuaciones a través de sus miembros, mediante acuerdos particulares. Cuenta con un presidente (actualmente, Antonio Colino, consejero del CSN), y un secretario general (actualmente, Pío Carmena, Endesa) (Tabla 1).

Los órganos colegiados de gobierno de la Plataforma Ceiden son: la Asamblea y el Consejo Gestor. La Asamblea General es el órgano supremo de gobierno de la Plataforma Ceiden y está integrada por todos los miembros, reuniéndose al menos una vez al año. El Consejo Gestor de Ceiden es el órgano encargado de la gestión y coordinación del funcionamiento de la Plataforma, por delegación de la Asamblea (Figura 2).

La Asamblea y el Consejo Gestor tienen la facultad de estructurar la gestión de la plataforma mediante las unidades operativas convenientes para la consecución de sus fines. Estas unidades operativas pretenden desarrollar proyectos de interés común, así como ampliar las posibilidades de participación de los miembros en las tareas de Ceiden, y se concretan en grupos de trabajo temáticos. A cada una de ellos se asigna un mandato concreto especificando sus funciones y objetivos.

La participación en la Plataforma se hace a nivel de entidades (miembros), no de personas individuales. Puede ser miembro de Ceiden cualquier entidad española relacionada con la I+D+i que desarrolle o tenga interés en desarrollar tareas de I+D+i en el campo de la energía nuclear de fisión o que pueda aportar capacidades tecnológicas a este colectivo.

Los deberes de los miembros son contribuir con sus conocimientos y trabajo a que el grupo o grupos de trabajo en los que colaboran cumplan sus objetivos, así como contribuir a los objetivos generales de Ceiden. La participación en la Plataforma Ceiden no implica cuotas para los miembros. Los programas de I+D lanzados desde la Plataforma se autofinancian con contribuciones de las entidades interesadas en participar en dichos programas.

La Plataforma tiene definida una Misión que es desarrollar actividades de I+D+i orientadas a la operación segura, fiable y económica de las instalaciones nucleares actuales y del ciclo de combustible nuclear, y al desarrollo de posibles nuevos proyectos nucleares, así como un documento de Visión, cuyos objetivos específicos son:

- a) Impulsar el crecimiento de la base científica y tecnológica de la energía nuclear de fisión, mediante el fomento de la participación de empresas, organismos y grupos de investigación en este campo y el impulso a la formación.
- b) Formar una entidad de coordinación de iniciativas de I+D+i a nivel nacional, que permita fomentar la colaboración entre los diferentes actores: empresas, Administración, centros de investigación y universidades, en el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a la utilización de la energía nuclear de fisión.
- c) Sugerir al Plan Nacional de I+D las preferencias tecnológicas del sector.
- d) Formar una entidad de asesoramiento y coordinación a nivel nacional que permita afrontar proyectos internacionales de modo coherente, incrementando las oportunidades para las empresas e instituciones de I+D+i españolas en proyectos internacionales mediante estrategias comunes
- e) Detectar los órganos de decisión o comités de proyectos internacionales para sugerir la participación institucional española en dichos órganos.
- f) Promoción de la tecnología española en los foros que corresponda.

Finalmente, como documento programático Ceiden cuenta con una Agenda Estratégica, también elaborada y aprobada en 2007, que estructura las actividades en ocho áreas (Figura 3).

En estas áreas existen iniciativas concretas: programas, proyectos, etc. que se describen a continuación.

PROGRAMAS Y PROYECTOS CEIDEN

Área de Comportamiento de Materiales

Se ha avanzado significativamente en los temas de comportamiento de materiales sometidos a condiciones de altas presiones, temperaturas y radiación ionizante, identificando causas de aparición de grietas y conociendo sus mecanismos de crecimiento. Se está en proceso de concretar y conocer con precisión las acciones correctoras: nuevas aleaciones, técnicas de inspección, condiciones de operación del primario. Por ello hay que seguir investigando en estos temas que, por su dimensión y coste, precisan de una intensa colaboración internacional y de donde se podrán obtener, entre otros retornos, el desarrollo de programas de inspección específicos y el consecuente desarrollo de actuaciones de mitigación y/o reparación de las problemáticas asociadas

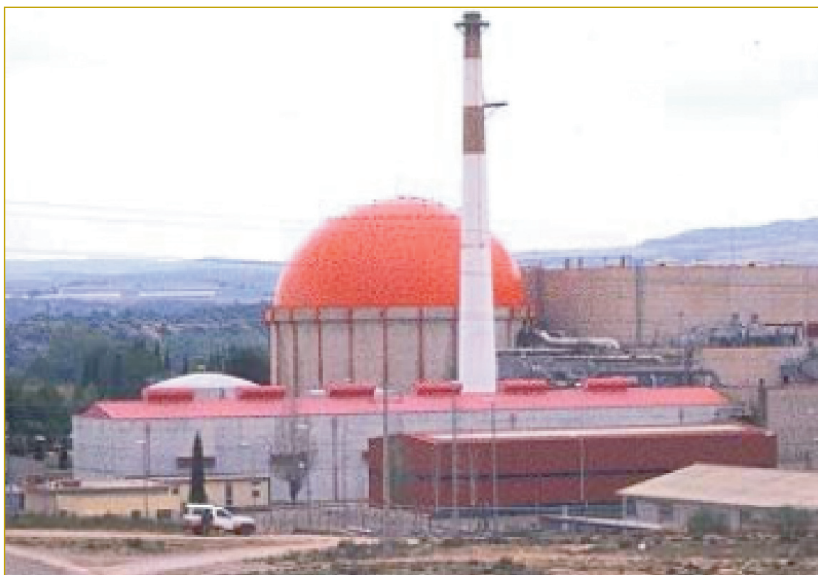


Figura 4. Central nuclear de Jose Cabrera, actualmente en desmantelamiento.

La central nuclear de Jose Cabrera, actualmente en desmantelamiento, representa para la industria nuclear mundial y en particular para la española un excelente vivero de experimentación a partir de sus materiales de diferentes tipos que han estado expuestos a casi 40 años de operación en las condiciones nominales. En este sentido, se han puesto en marcha dos líneas, una con los materiales de los internos de la vasija, aceros sometidos simultáneamente a niveles altos de irradiación neutrónica y temperatura, y con los hormigones, en concreto aquellos que rodeaban la vasija, sometidos simultáneamente a irradiación neutrónica, humedad y agentes químicos como el ácido bórico. A continuación se describen cada uno de estos programas (Figura 4).

Recuperación y estudio de materiales de los internos de la vasija del reactor de la Central Nuclear José Cabrera (Proyecto ZIRP)

Este proyecto, coordinado por Gas Natural Fenosa Engineering, consiste en recuperar parte de los internos de la vasija de la central nuclear José Cabrera (en adelante, CNJC), con la finalidad de ensayar posteriormente en laboratorio los materiales extraídos y evaluar la degradación de sus propiedades, tras haber estado sometidos a un largo periodo de irradiación en un reactor comercial.

Este proyecto se inició en el año 2005, a la vista de la parada definitiva de CNJC prevista para el año 2006. Su objetivo inicial era identificar qué materiales de esta central podrían ser de interés para el estudio de la evolución de sus propiedades en condiciones

reales de irradiación y temperatura de núcleo en los reactores comerciales.

El principal interés de este proyecto se fundamenta en el hecho de que el actual conjunto de datos para aceros inoxidables irradiados se considera insuficiente para poder evaluar el comportamiento de los componentes internos de los reactores en todo el espectro de exposiciones a las radiaciones durante el servicio que se prevé para los reactores de agua ligera (LWR) y, en particular, para los PWR. Por lo tanto, el objetivo final del proyecto es generar datos de alta calidad para subsanar las lagunas existentes y mejorar el conocimiento mecanicista, con el fin de evitar extrapolaciones inadecuadas en la evaluación de las partes internas de los reactores PWR y BWR.

Los materiales procedentes de CNJC se consideran adecuados para generar una base de datos representativa del comportamiento de los componentes internos de los reactores LWR. Las peculiaridades de estos materiales, en comparación con otros materiales extraídos de reactores LWR, son el mayor grosor de las placas deflectoras y unas dosis neutrónicas equivalentes a 26 años efectivos a plena potencia (EFPY, *Effective Full Power Years*), lo que en el caso de CNJC supone una dosis acumulada en los internos de hasta 58 desplazamientos por átomo (dpa). Esta dosis acumulada es muy superior a la recibida por los materiales que se están utilizando en los diferentes programas de investigación que actualmente se encuentran en desarrollo.

La aplicación de las conclusiones del estudio de los materiales de los internos de CNJC puede ser de aplicabilidad en los siguientes campos:

- Criterios y bases para cálculo de gestión de vida.
- Potencial de minimización de inspección y mantenimiento de los internos.
- Ampliación de las bases de datos sobre J1c y K1c de materiales irradiados.
- Reducción del conservadurismo en las curvas de operación presión-temperatura del reactor.
- Impacto en las condiciones de operación y puesta en marcha.
- Criterios de selección de materiales para nuevas plantas.

Para la gestión de este proyecto se creó un grupo de trabajo dentro de la PT Ceiden con representantes de las entidades españolas interesadas en el mismo. La carencia actual de infraestructuras adecuadas para la manipulación y realización de ensayos y pruebas de estos materiales en nuestro país y la dimensión internacional de este tipo de trabajos, obligó al grupo de trabajo a buscar colaboraciones internacionales con las que compartir estos materiales y su estudio. En esta línea, desde el año 2006 se establecieron varios contactos internacionales entre los que destacaban el Programa Internacional sobre Corrosión Bajo Tensión (IASCC IAC Program, en el que participan EPRI, las empresas eléctricas japonesas, Ringhals-Suecia, Tractebel-Bélgica-, EDF-Francia-, así como Mitsubishi Heavy Industries, Westinghouse y Framatome como miembros asociados) y el Grupo de IAGE de la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE-NEA (en el ámbito de los organismos reguladores). A principios del año 2009 las negociaciones del programa de la OCDE-NEA fracasaron, manteniéndose el interés de dos de sus participantes, la NRC (*Nuclear Regulatory Commission*) y el CSN (Consejo de Seguridad Nuclear), que finalmente alcanzaron un acuerdo con el IASCC IAC para integrarse dentro de su programa de materiales. En el año 2010, la gestión del programa de materiales fundado por el IASCC IAC para el aprovechamiento de los internos de CNJC ha sido trasladada a EPRI.

El Proyecto se ha dividido en las siguientes dos fases:

- *Fase 1: Proyecto ZIRP español.*

Esta fase consta, fundamentalmente, de las operaciones de corte y extracción de los materiales de los internos de la vasija (*baffle plates* y *core barrel*; 304 SS Annealed Hot Rolled & Pickled), incluyendo todas aquellas actividades asociadas que sean necesarias para el óptimo desarrollo de dichas operaciones y para la minimización de su

impacto en la planta. Estas operaciones serán llevadas a cabo dentro del programa de desmantelamiento de CNJC, estando previstas para el primer semestre del año 2013 durante las actividades de desmantelamiento de los internos del reactor.

La fase incluye, además, la caracterización y documentación de las muestras a extraer mediante la realización de cálculos de detalle de la fluencia neutrónica y la temperatura a la que han estado sometidos los materiales durante la operación de la planta.

Como primera actividad de esta fase se desarrolló un estudio de viabilidad de proyecto que incluía la recopilación de información relativa a la composición, características y propiedades originales de los materiales, así como la estimación de las condiciones operativas a las que han estado sometidos los internos, con la finalidad de evaluar el interés real de los mismos.

Las actividades de esta fase han sido objeto de un Acuerdo CSN-Unesa para su financiación, el cual se ha encuadrado dentro de su Plan Coordinado de Investigación (PCI).

Las principales entidades participantes en esta fase del proyecto son Gas Natural Fenosa Engineering, Gas Natural Fenosa, Unesa, CSN, Ciemat, Enresa, Enusa y Tecnatom. Esta fase, que finalizará previsiblemente en el tercer trimestre del año 2013, se materializará en los siguientes contratos:

- Contratos EPRI - Gas Natural Fenosa Engineering (845.000 euros):
 1. Servicios de ingeniería para el corte y extracción de materiales de los internos de la vasija de CNJC.
 2. Cálculos de detalle de fluencia neutrónica y temperatura.

Las actividades de este contrato serán realizadas conjuntamente por Gas Natural Fenosa Engineering, Enusa y Tecnatom.
- Contrato EPRI-Enresa. Este contrato regulará las condiciones del suministro de muestras, así como las responsabilidades sobre la transferencia de titularidad del material.

Las muestras de material de los internos de la vasija de CNJC serán cedidos por España al Proyecto Internacional sin coste alguno, en beneficio de la comunidad científica. Por otra parte, el coste de las actividades de extracción de muestras, valorado en 270.000 euros, será asumido por Enresa. En conclusión, las dos aportaciones anteriores representan contribuciones en especie de España al Proyecto Internacional (Figura 5).



Figura 5. Zonas de extracción de muestras de los internos de vasija de CNJC.

- *Fase 2: Proyecto Internacional.*

Esta fase consistirá en la realización de diversos ensayos de laboratorio que permitan evaluar las propiedades remanentes de los materiales de los internos de CNJC, pudiendo estudiarse así la degradación de los mismos en función de las condiciones operacionales a las que han estado sometidos.

Los ensayos de laboratorio serán realizados dentro del marco del Proyecto Internacional liderado por EPRI, que definirá la matriz final de ensayos a realizar con los materiales de los internos en función de los intereses de todos los socios involucrados. Previsiblemente, esta matriz de ensayos perseguirá el análisis de los siguientes fenómenos:

- Corrosión bajo tensión asistida por irradiación.
- Cambios en la resistencia mecánica (J1c, J-R Curves, Master Curve).
- Crecimiento de grietas.
- Tenacidades de fractura.
- Daño al material, crecimiento de huecos.
- Envejecimiento térmico del material.
- Estudios mecánicos, microestructurales y microquímicos.

Estos ensayos se llevarán a cabo en Studsvik (Suecia), donde está previsto trasladar las muestras.

A nivel internacional, el proyecto está liderado actualmente por EPRI desde el Programa de Fiabilidad de Materiales (*Materials Reliability Program*, MRP). Los miembros del MRP incluyen a las 26 empresas eléctricas con reactores nucleares en EEUU; Electricite de France (EDF), Unesa y Rolls Royce, en Europa; TaiPower, Ko-

rea Hydro Nuclear Power (KHNP), Kansai Electric Power Company (KEPCO), Shikoku Electric Power Company, Hokkaido Electric Power Company y Japan Atomic Power Company (JAPC), en Asia. Además de las empresas involucradas en el MRP, el proyecto cuenta adicionalmente con el apoyo internacional de otros socios como otras empresas eléctricas de EEUU, Suecia, Bélgica, Suiza y Japón, así como organismos reguladores de EEUU (*Nuclear Regulatory Commission, NRC*), Suecia (*Swedish Radiation and Safety Authority, SSM*) y España (Consejo de Seguridad Nuclear, CSN).

Recuperación y estudio de hormigones de la central nuclear José Cabrera

La propuesta de proyecto para la recuperación y estudio de los hormigones de la central nuclear José Cabrera surge inicialmente como una iniciativa lanzada desde el Grupo de Trabajo de Ingeniería Civil de Ceiden, coordinado por Acciona.

Este grupo de trabajo se constituyó en el año 2008 con los siguientes objetivos:

- Impulsar el avance tecnológico de los métodos de análisis y diseño, técnicas, procesos y materiales constructivos utilizados dentro del área de la Ingeniería Civil en plantas e instalaciones relacionadas con la fisión nuclear mediante:
 - La búsqueda de soluciones a problemas y desafíos tecnológicos "abiertos" de plantas actuales.
 - El impulso de nuevas líneas de I+D conducentes a la obtención de avances tecnológicos aplicables a proyectos futuros de "nueva" construcción.
- Constituir un foro de intercambio de información y coordinación de actividades de I+D+i a nivel nacional en el campo de la Ingeniería Civil aplicada a instalaciones de fisión nuclear, que fomente la interrelación y colaboración entre los diferentes actores (empresas, centros de investigación, administraciones).
- Promover la participación coordinada a nivel nacional de empresas e instituciones españolas en proyectos de I+D e iniciativas a nivel europeo en este campo.

Participan en este Grupo, 11 entidades entre las que se encuentran centros de investigación, universidades, organismos públicos y empresas privadas con interés en la I+D dentro del campo de la Ingeniería Civil aplicada a instalaciones y plantas de fisión nuclear.

Un primera iniciativa del Grupo ha sido la elaboración de un diagnóstico

inicial de las necesidades actuales del área de Ingeniería Civil de instalaciones y plantas nucleares de fisión, seguido de una propuesta de áreas generales de actuación para satisfacer dichas necesidades actuales. El proyecto de recuperación y estudio de hormigones de la central nuclear José Cabrera se planteó como una línea de trabajo de comprobación de la fiabilidad en funcionamiento de las instalaciones existentes en vistas a su operación a largo plazo.

El objetivo de este proyecto es la adquisición de nuevos conocimientos en relación a los procesos y grado de envejecimiento de las estructuras de hormigón de centrales nucleares al final de su ciclo de vida útil, así como la identificación, desarrollo, optimización y validación de métodos de ensayos no destructivos aplicables a este tipo de estructuras que permitan predecir de manera fiable el estado de envejecimiento y deterioro de las mismas, habiendo estado sometidas a altos niveles de irradiación. También tiene aplicación en el estudio de los efectos a largo plazo de la radiación en los contenedores de combustible gastado y en las estructuras del ATC.

Participan en el mismo el CSN, Enresa, Gas Natural Fenosa, Endesa, GNF Engineering y Cisdem. El objetivo específico del proyecto es cortar y extraer parte de las estructuras de hormigón del reactor y las piscinas de combustible gastado, para conocer experimentalmente la variación de las características de estos materiales. El plazo de ejecución previsto es el periodo 2011-2016.

Se han constituido los Comités de Dirección y Técnico del proyecto y se está en la fase de finalizar las especificaciones técnicas. Éstas recogen de manera detallada los objetivos técnicos específicos a conseguir, el alcance y plan de trabajo (selección de las zonas/elementos de las cuales se tomarán las probetas de hormigón a analizar, tipo de ensayos mecánicos, físicos, químicos y radiológicos a realizar y los parámetros/resultados/conclusiones a obtener de cada uno de dichos ensayos, etc.), así como una estimación detallada de los costes de ejecución del proyecto.

Esta iniciativa también ha suscitado el interés internacional en el ámbito de EPRI y la NEA. EPRI tiene interés en analizar muestras de hormigones de CNJC en el contexto de su programa de I+D de operación a largo plazo (*Long Term Operation, LTO*), entendida mas allá de los 60 años. Este programa tiene varias líneas definidas:

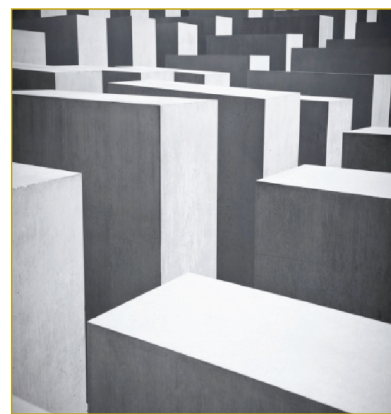


Figura 6.

- Estudio de los efectos de posibles fugas de las piscinas de combustible gastado, con objeto de verificar los modelos en los que está trabajando este programa para identificar potenciales problemas derivados de los efectos del ácido bórico y los componentes cálcicos de los materiales de construcción.
- Efectos del envejecimiento de los hormigones de la contención y de actuaciones sobre los mismos.
- Estudios de los efectos del envejecimiento del hormigón en otras estructuras tales como torres de refrigeración, tuberías, estructuras de captación de agua, etc. (Figura 6).

El programa LTO de EPRI cuenta además con la participación del laboratorio ORNL y de EDF, a través de su *Materials Ageing Institute (MAI)*.

Eficiencia del Combustible Nuclear

Se ha consolidado la participación española en programas de I+D internacionales sobre combustible nuclear, así como el fomento de programas propios orientados hacia la optimización de la utilización del combustible, con objeto de preservar la máxima fiabilidad durante la operación y a la caracterización de las propiedades del combustible gastado. La capacidad española de fabricación y la gestión integrada del combustible nuclear fresco y gastado, reconocida internacionalmente, inciden sobre el interés y vigencia de estos programas para nuestro país. El conjunto de ellos constituyen un pilar primordial para garantizar la operación segura de las plantas, la reducción de los costes asociados a dicha operación y la disminución progresiva de los residuos que se generan.

Dentro de esta área, Ceiden viene desarrollando un programa sobre almacenamiento y transporte del combustible gastado.

PROYECTOS	OBJETO AVANCE	COLABORACIÓN INTERNACIONAL
Fluencia vaina PWR de zirconio con alto quemado	Determinación de leyes de fluencia del material mediante ensayos en celda caliente de barras irradiadas (variables: temperatura, tensión, [H])	Intercambio con programa EDF/Wh/EPRI
Fluencia de la vaina BWR de zircaloy 2	Completado en programa experimental en celda caliente y los informes correspondientes. Ponencia en el próximo TopFuel (Manchester, sept. 2012)	Acuerdo con Vattelfall
Isotopía del combustible PWR con alto quemado	Determinación en celda caliente de la composición isotópica de pastillas irradiadas y contraste con las predicciones de modelos disponibles (justificar el "crédito quemado")	Acuerdo con DOE/ORNL Acuerdo con NEA/OCDE NUREG/CR-7012 NUREG/CR-7013
Isotopía del combustible BWR	Completada fase experimental prevista Completado el análisis de los resultados Se prevee contrastar ese análisis con el de las otras entidades con las que se ha colaborado (workshop) En curso artículo de la parte experimental para JNM	Acuerdo con Vattelfall Acuerdo con DOE/ORNL
Criterios de fractura del material de vaina	Determinación de la energía de rotura del material según la carga de H	Colaboración académica con: - IRSN - Universidades japonesas
Roturas por impactos de baja velocidad	Determinación y análisis de los modos de fallo (en colaboración con UPM, Caminos) Progresión según programa de 4 años (>50% avance) Dos ponencias para el próximo TopFuel Artículo revista SNE	

Tabla 2. Proyectos incluidos en el programa sobre almacenamiento y transporte del combustible gastado.

Programa sobre almacenamiento y transporte del combustible gastado

El almacenamiento en seco del combustible gastado proporciona una barrera que debe garantizar que el combustible se mantiene sub-crítico y a temperaturas adecuadas, así como que permite una posterior recuperación y manejo de los elementos almacenados. Para ello, además de los requisitos propios del contenedor, es necesario asegurar la integridad estructural del combustible. Se trata de una modalidad de almacenamiento que será empleada en España con creciente frecuencia en los próximos años y por periodos significativamente prolongados.

El objetivo de este programa, comenzado en el año 2004, y coordinado por Enusa, es la identificación, el impulso y, finalmente, el desarrollo de distintos proyectos que permitan profundizar en los criterios de diseño y seguridad que aseguren la integridad estructural del combustible gastado durante su almacenamiento en seco y transporte, con el fin de optimizar la gestión y disposición del combustible atendiendo a sus particulares características y al proceso de almacenamiento y transporte seleccionado. Para la gestión de este programa se estableció un Acuerdo Marco que define los campos de investigación del programa, establece las bases para coordinar las iniciativas en curso de cada entidad y fija los mecanismos para promover proyectos individuales de investigación.

Como se cuenta con importante experiencia internacional al respecto,

en primer lugar el programa ha contemplado la asimilación y el aprovechamiento de esa experiencia, sobre todo en lo que respecta a la definición y bases de los criterios de diseño. En segundo lugar, el programa se ha centrado en la investigación de propiedades y características significativas en especímenes de combustible gastado de interés singular por los materiales avanzados de vaina que emplea o por las condiciones particularmente envolventes de operación bajo las que ha sido irradiado. Finalmente, el programa también considera la investigación de ciertos mecanismos primarios de fallo en el combustible gastado, así como el desarrollo de herramientas analíticas que permitan su simulación. Un resumen de los proyectos incluidos en este programa y su estado se presenta en la Tabla 2. No se incluyen los proyectos actualmente en estado de propuesta.

Los resultados de los proyectos ya realizados han permitido acuerdos tecnológicos en el ámbito internacional con otras entidades para complementar la investigación realizada tales como EPRI, W, DOE, ONL, IRSN, EDF, Vattelfall y NEA/OCDE. Asimismo, parte de estos resultados se han divulgado en congresos y publicaciones especializadas de reconocido prestigio.

Para la gestión de este programa se estableció un Acuerdo Marco que establece la creación de un Comité de Dirección del programa con representantes de las siguientes entidades: empresas eléctricas a través de Unesa, CSN, Enresa, Enusa, Ciemat, ENSA y Gas Natural Fenosa Engineering. Asi-

mismo, este Acuerdo Marco define los campos de investigación del programa, establece las bases para coordinar las iniciativas en curso de cada entidad y fija los mecanismos para promover Proyectos individuales de investigación. La realización de cada uno de esos proyectos individuales así como los derechos sobre la propiedad intelectual de los resultados de la investigación se regularán por acuerdos particulares entre las entidades que estén interesadas y contribuyan a su ejecución.

Está previsto que las actividades de este programa se extiendan hasta el año 2013. El presupuesto final estimado de los trabajos de investigación en sus nueve años de duración es de aproximadamente 2,5 M€.

En este programa es importante reseñar las colaboraciones internacionales que se han derivado de su realización. Entre ellas destacan la colaboración en el Programa ESCP, coordinado por EPRI y con el CRP "Demonstrating performance of Spent Fuel and related system components during very long term storage" del OIEA

Colaboración en el Programa ESCP coordinado por EPRI

Tras la decisión del Gobierno de los EEUU de abandonar la construcción del AGP de Yucca Mountain surge una iniciativa, coordinada por EPRI, que reúne a los principales actores que deberán afrontar, en ausencia de dicho AGP, una gestión del combustible gastado por periodos de tiempo muy superiores (>100 años) a los originalmente previstos.

La iniciativa se abrió a la cooperación internacional, y desde finales de 2009 cuenta con la colaboración de nuestro Programa Ceiden sobre combustible gastado.

Su primer objetivo ha sido la identificación y valoración de las carencias de conocimiento necesario ("gap análisis") para asegurar la adecuada gestión del combustible gastado en las nuevas circunstancias. A partir de ese análisis se promoverán diferentes proyectos de investigación que contribuyan a subsanar las carencias encontradas. Se trata del alcance de la iniciativa.

Se han creado los siguientes grupos de expertos en los diferentes campos que se quieren abordar estudios sobre:

- Comportamiento de combustible durante el almacenamiento prolongado en seco (participa Enusa).
- Examen no destructivo y monitorización de la integridad del contenedor (participa ENSA).
- SCC de los contenedores de almacenamiento en ambientes marinos.
- Mecanismos de degradación de los hormigones.
- Proyecto de demostración.

Participación en la CRP en

"Demonstrating performance of Spent Fuel and related system components during very long term storage" del OIEA

Se trata de un *Coordinated Research Program* del OIEA que busca un esfuerzo de colaboración e integración internacional de las diferentes iniciativas existentes (del propio OIEA, de la NEA y el propio ESCP americano) sobre el almacenamiento prolongado del combustible gastado.

Sus principales objetivos son:

- Crear una red de expertos en esta materia.
- Generar datos relevantes sobre comportamiento de combustible gastado y sistemas de almacenamiento en seco.
- Desarrollar metodología para la validación del almacenamiento prolongado.
- Impacto del alto quemado en el almacenamiento prolongado.

Finalmente este programa y sus colaboraciones internacionales han dado lugar a numerosas publicaciones nacionales e internacionales, en las que se pueden consultar los principales resultados y conclusiones de los trabajos realizados por este Programa Ceiden (Tabla 3).

Área de Gestión de Residuos y Protección Radiológica

La gestión de los residuos de media, baja y muy baja actividad, pese a es-

Publicaciones asociadas al programa sobre almacenamiento y transporte del combustible gastado

- XXXV *International Symposium on Scientific Basis for Nuclear Waste Management – MRS 2011*, Buenos Aires, 2-7 de octubre 2011; *"Structural integrity of hydrided nuclear fuel cladding"*. UPM (Dpto. Ciencia de Materiales, I. Caminos)
- Reunión Anual SNE 2011, Burgos, 28-30 de septiembre 2011; *"Estudio del efecto del óxido en el comportamiento en rotura de la vaina de combustible"*. UPM (Dpto. Ciencia de Materiales, I. Caminos) y CSN
- Incorporación de los resultados de la caracterización isotópica del combustible de Vandellós en la base de datos de la NEA *"Spent Fuel Isotopic Composition Database"* (SFCOMPO). 2011
- *Journal of Nuclear Materials*, Volume 402 del 1-7-2010; *"Nuclide análisis in high burnup fuel samples irradiated in Vandellós II"*. Zwicky (Zwicky Consulting); Low y Granfors (Studsvisk Nuclear); Alejano y Conde (CSN); Casado, Sabater y Lloret (Enusa).
- Publicación en 2010 por la NRC (NUREG) del análisis de ORNL de los resultados del proyecto de caracterización isotópica PWR, incluyendo los datos generados en el Programa CEIDEN. NUREG/CR-7012, *"Uncertainties in Predicted isotopic compositions for High Burnup PWR Spent Nuclear Fuel"*
- Publicación en 2009 por la NRC (NUREG) del análisis de ORNL de los resultados del proyecto CEIDEN de caracterización isotópica PWR NUREG/CR-7013, *"Analysis of experimental data for High Burnup PWR Spent Fuel Isotopic Validation- Vandellós II Reactor"*
- Top Fuel septiembre/2009 (Paris), *"New Method to Calculate Mechanical Properties of Unirradiated H-charged Fuel Cladding from Ring Tensile Tests"*. Martín-Rengel (UPM/CSN), Gómez (UPM), Ruiz-Hervías (UPM), Caballero (UPM), Valiente (UPM)
- Top Fuel septiembre/2009 (Paris), *"Obtention of Fracture Properties of Unirradiated H-charged Fuel Cladding from Ring Compression Tests"*. Martín-Rengel (UPM/CSN), Gómez (UPM), Ruiz-Hervías (UPM), Caballero (UPM), Valiente (UPM)
- Tesis Doctoral Martín Rengel (CSN), julio-2009; *"Integridad estructural de vainas de combustible nuclear en condiciones de almacenamiento temporal en seco"*
- Revista Nuclear España, I+D en Combustible Nuclear 2008. *"Comportamiento del material de vaina PWR altamente irradiado frente a distintas solicitaciones mecánicas"*. M. Lloret (Enusa); J. M. Rey Gayo (CSN), y F. Javier Fernández (Enresa)
- SNE 2008, Murcia. *"Comportamiento de la vaina de ZIRLO Altamente irradiado durante el almacenamiento en seco"*. M. Lloret y M. Quecedo (ENUSA); J. M. Conde (CSN), y J. A. Gago (ENRESA)
- W.R. Fuel Performance Meeting,Seul 2008. *"Results of thermal creep tests on highly irradiated Zirlo"*. M. Quecedo y M.Lloret (Enusa); J.M. Conde y C. Alejano (CSN); J.A. Gago y F.J. Fernández (Enresa)
- W.R. Fuel Performance Meeting,Seul 2008. *"Mechanical Behaviour of H-charged PWR cladding samples: experimental and numerical characterization"*. J. Ruiz, F.J. Gómez, L. Caballero y A. Valiente (Departamento de Ciencia de Materiales, UPM); M.A. Martín-Rengel (CSN)

Tabla 3.

tar tecnológicamente resuelta, debe incorporar los nuevos desarrollos relacionados con la caracterización de los residuos y la reducción del volumen. La tecnología para optimizar los desmantelamientos, en lo referente tanto a volumen y tipo de residuos a generar como a protección radiológica operacional será fruto también de actividades de I+D. Otro tema de interés es el desarrollo de equipos autómatas para desclasificación de hormigones y quizá la caracterización de materiales (suelos contaminados).

En el Área de la Protección Radiológica operacional está bien desa-

rollada la tecnología de dosimetría externa con diferentes opciones de dosímetros de estado sólido, y queda por finalizar algunos aspectos relacionados con la dosimetría interna así como en las dosimetría especiales tales como la de extremidades. Así mismo están en desarrollo técnicas de ayuda para la gestión de los trabajos con radiaciones.

La vigilancia radiológica ambiental ha avanzado mucho con las redes de medida existentes, habiéndose cubierto adecuadamente algunos temas como la exposición al radón con los proyectos actuales. Están en curso

los estudios sobre protección radiológica en instalaciones cuyos procesos intensifican las concentraciones de materiales radiactivos naturales (NORM), con objeto de evaluar si hay necesidad de tomar medidas regulatorias en los mismos.

En Ceiden se han abordado dos iniciativas relacionadas con esta temática:

- Desarrollo de las capacidades nacionales de dosimetrías interna *in vitro*.
- Grupo de usuarios de laboratorios de patrones neutrónicos.

Desarrollo de las capacidades nacionales de dosimetrías interna in vitro

Las radiaciones ionizantes son un fenómeno intrínsecamente unido a la utilización de la energía nuclear, en sus múltiples aplicaciones. La protección de las personas y el medio ambiente a los efectos de estas radiaciones deben ser una actividad objeto de mejora permanente en el colectivo científico. Un aspecto particular de esta problemática está relacionada en la cuantificación del riesgo asociado al uso de estas radiaciones mediante la dosimetría.

Uno de los riesgos de interacción de los isótopos radiactivos con las personas es la incorporación accidental de los mismos por vía respiratoria, digestiva o por heridas. Esto hace necesario disponer de métodos adecuados de medida y modelos matemáticos de los procesos biológicos para predecir la evolución de estos radioisótopos en el cuerpo humano, la eficacia de las medidas de eliminación que se puedan prescribir y las dosis comprometidas por este proceso. Esta metodología está suficientemente desarrollada en nuestro país para radioisótopos emisores gamma, que por su mayor grado de penetración son detectables desde fuera del cuerpo humano (dosimetría interna *in vivo*). En efecto estos radioisótopos son los mas frecuentes en las centrales nucleares, existiendo uno o dos contadores de radiactividad corporal en cada central, así como un Servicio de Dosimetría interna centralizado en Tecnatom dotado de contadores de radiactividad corporal instalados en unidades móviles y el Servicio de Dosimetría interna de referencia del Ciemat. Sin embargo, los radioisótopos emisores alfa o beta no son detectables desde fuera del cuerpo humano por lo se utilizan técnicas indirectas basadas en el radioanálisis de excretas de las personas afectadas (dosimetría interna *in vitro*). Estas capacidades, sin embargo no estaban suficientemente desarrolladas en nuestros país, contándose actualmen-

te solo con el Servicio de Dosimetría interna de referencia del Ciemat, con una capacidad limitada respecto al número de muestras a analizar y de personas a asignar dosis.

Por ello, en el año 2007, el Consejo Gestor de Ceiden planteo el objetivo de aumentar estas capacidades en nuestro país, mediante la colaboración de todas las entidades relacionadas con el tema para asimilación de los conocimientos desarrollados por el Ciemat y el desarrollo común de la tecnología adicional. Se constituyó un grupo de trabajo formado por el Ciemat, como tecnólogo, las empresas eléctricas, a través de Unesa, Enusa, Enresa y CSN, como usuarios, y Tecnatom, Iberinco, Gas Natural Fenosa Engineering, Geocisa y Medidas Ambientales, como desarrolladores de los futuros servicios. El proyecto comprendía dos fases:

- *Puesta a punto de capacidades para el radioanálisis de muestras de excretas.* Esta actividad estaba centrada básicamente en los participantes con capacidades de análisis radioquímico, que deberían poner a punto sus capacidades para este tipo de muestras (orina y heces) y contrastarlas con las del Ciemat, como centro de referencia en el tema.
- *Adaptación de los modelos de cálculo para el análisis dosimétrico a partir de los datos de concentración de radioisótopos en las excretas.* Los servicios de dosimetría de nuestro país disponían de varios modelos de cálculo de dosimetría interna. Unesa y el CSN habían desarrollado conjuntamente, dentro del Plan Coordinado de Investigación CSN-Unesa, el Código Indac, orientado básicamente hacia su utilización en dosimetría *in vivo*. Enusa había desarrollado el Código Biokmod con un gran espectro de capacidades y amplio reconocimiento internacional. Por otra parte existían en el mercado códigos internacionales como el IMBA (código generado por el antiguo NRPB inglés de difícil manejo, pero muy implantado en Europa), IMIE (código ruso de fácil utilización) y AIDE (código desarrollado por el laboratorio norteamericano de Los Álamos), que podían ser adquiridos y con los que habitualmente trabajaba el Ciemat.

Finalmente, se acordaron los mecanismos de transferencia de tecnología entre el Ciemat y resto de los participantes y en el año 2008 quedó finalmente establecido un consorcio compuesto por Tecnatom y Geocisa, como entidades autorizadas por el CSN, que tiene capacidad de prestar los servicios de dosimetría *in vitro*,

complementariamente a los que venía prestado el Ciemat (Figura 7).

Grupo de usuarios de laboratorios de patrones neutrónicos

En la Asamblea General de Ceiden celebrada en el año 2011, el representante del Ciemat presentó su proyecto de laboratorio de patrones neutrónicos, solicitando de Ceiden, como foro de I+D del sector nuclear español, la creación de un grupo de potenciales usuarios de este tipo de laboratorios, para que conozcan las capacidades de los mismos, planteen posibles aplicaciones adicionales a las previstas y promuevan el uso de estos laboratorios cuando entren en operación.

En consecuencia, en marzo de 2012 se creó este grupo, quedando inicialmente constituido por el Ciemat y ETSIIM, como responsables de laboratorios de patrones neutrónicos en nuestro país y coordinadores del grupo; la Universidad Autónoma de Barcelona, Unesa y representantes de los sectores de la aplicaciones sanitarias e industriales de las radiaciones, coordinados por la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR). Posteriormente se incorporarían al grupo el CSN, Enresa y Enusa.

El objetivo inicial del grupo es ayudar a especificar las aplicaciones previstas para estos laboratorios y promover posibles aplicaciones adicionales no contempladas inicialmente, así como fomentar el uso de los laboratorios para aplicaciones industriales y de investigación. Las tareas actualmente en curso son hacer un inventario de los monitores de área de neutrones que existen en España y que precisan de verificaciones/calibraciones periódicas; diseñar y



Figura 7.

realizar medidas de caracterización neutrónica en tratamientos de radioterapia sanitarios; investigar el uso de fuentes neutrónicas en los campos de testificación geofísica y en otras aplicaciones y sus posibles requerimientos; recopilar información sobre el Proyecto Neutor, cuyo objetivo es el desarrollo de técnicas para la medida de dosis neutrónica al paciente de radioterapia, y ofrecer las instalaciones para su utilización en proyectos internacionales sobre este tema (Figura 8).

Fiabilidad de equipos y gestión de activos

La búsqueda de mayores niveles de eficiencia de las instalaciones actuales está ligada a mejores técnicas de diagnóstico y mantenimiento de los equipos de las mismas. Hay diversas metodologías en desarrollo para incrementar esta eficacia, que también tienen relación con la operación a largo plazo de las instalaciones y que pueden contribuir a soslayar los problemas crecientes de obsolescencia de equipos clase, que se consideran críticos para la operación de las actuales plantas. Actualmente no hay iniciativas en Ceiden relacionadas con esta área.

Tecnología de seguridad y del riesgo y sus aplicaciones

Actualmente se consideran adecuados los proyectos en curso relativos a accidentes severos y técnicas probabilísticas de seguridad. Habría que trabajar en los temas de efectos en las instalaciones de riesgos asociados a su entorno eléctrico (capacidad de transmisión, estabilidad de las redes, etc.).

Los temas de los factores humanos y la influencia de la organización en la seguridad han sido suficientemente cubiertos en cuanto al diagnóstico de situaciones, pero queda por completar el desarrollo de técnicas de mejora de las organizaciones. Actualmente no hay iniciativas en Ceiden relacionadas con esta área.

Instrumentación y control

La instrumentación y control afecta a todas las facetas de la operación de las centrales. Los actuales diseños y componentes de los sistemas de I&C están siendo superados por nuevas tecnologías y por la obsolescencia de los repuestos. Los esfuerzos actuales están dirigidos a desarrollar técnicas para el mantenimiento y, en su caso, actualización de los sistemas en operación. Actualmente no hay iniciativas en Ceiden relacionadas con esta área.



Figura 8.

Nuevos diseños nucleares

La generación eléctrica mediante fuentes libres de CO_2 y el progresivo encarecimiento de los combustibles fósiles están siendo importantes impulsores de la energía nuclear como fuente de generación eléctrica fiable, económica y sostenible. No obstante el accidente de Fukushima en 2011 ha vuelto a plantear la polémica sobre la seguridad de este tipo de energía y ha ralentizado lo que parecía un renacimiento del interés por esta tecnología, tanto en países actualmente con centrales nucleares como en países sin ellas. No obstante, España debe mantenerse actualizada sobre las aplicaciones tecnológicas de la Generación III, III+ y IV en el contexto europeo e internacional, por cuanto este conocimiento permitiría al país introducir estas tecnologías ante una eventual estrategia de nuevas plantas y porque también es de utilidad para la mejora de conceptos de operación y seguridad de las centrales actuales. Además, esta actividad favorece la participación de la industria española en la construcción de las grandes infraestructuras científicas europeas.

En esta línea, en el año 2011 se planteó la participación española en la iniciativa internacional ESNII promovida por la Plataforma Europea SNETP. Esta iniciativa europea pretende la construcción de prototipos o demostradores de las tecnologías SFR (Prototipo Astrid), LFR (Prototipo Myrrha y demostrador Alfred) y GFR (demostrador Allegro), con un horizonte de los años 2022 a 2025 para su puesta en

marcha. Hasta la fecha participan en el consorcio internacional, el Ciemat, Iberdrola y Tecnatom y se ha constituido un consorcio nacional están las empresas españolas que participan en el consorcio internacional (Ciemat, Iberdrola, Tecnatom), así como Empresarios Agrupados, ENSA, GNF Engineering, UPM y UPV.

Se han realizado actividades de divulgación de estos diseños entre los miembros del consorcio nacional y otros miembros de Ceiden, y se está a la espera de poder definir la participación concreta de estas empresas en los mencionados proyectos europeos (Figuras 9 y 10).

Temas transversales

En esta área se incluyen temas tales como construcción o participación en infraestructuras de I+D, formación, etc. En Ceiden hay tres iniciativas de este tipo:

- Proyecto del Jules Horowitz Reactor.
- Grupo de Formación.
- Grupo de Capacidades de la Industria Nuclear Española para un Nuevo Proyecto Nuclear.

Proyecto del Jules Horowitz Reactor

El proyecto del reactor Jules Horowitz (JHR) es una iniciativa del CEA francés, que tiene como objetivo disponer en el año 2014 de un reactor experimental que sustituya a los reactores experimentales actuales (Halden, Osiris, etc.), que se encuentran en una fase final de su explotación. Este proyecto esta promocionado por las

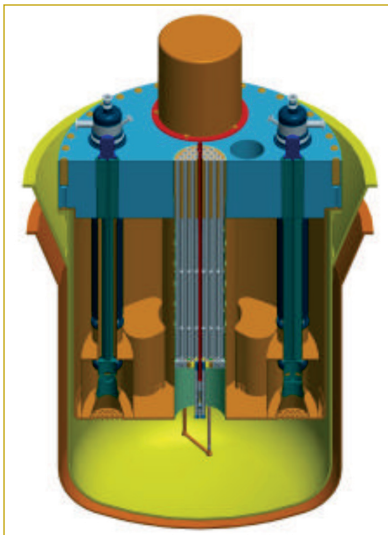


Figura 9. Esquema de la vasija del Proyecto Myrrha.

instituciones francesas CEA, EDF y Areva, que aportarían el 75% de la inversión necesaria, precisándose participaciones de otras instituciones para cubrir el 25% restante del proyecto. El presupuesto del proyecto es de 500 millones de euros y el programa previsto se muestra en la Figura 11.

La propuesta del CEA engloba la participación española en un acuerdo de colaboración entre CEA y Ciemat, e incluye que esta participación pueda ser, tanto en forma de aportación financiera, como en forma de bienes o servicios a proporcionar por las empresas españolas participantes. Esta fórmula se consideró de interés en el Ceiden, creándose un consorcio español JHR liderado por el Ciemat (Enrique González), y constituido por las entidades interesadas

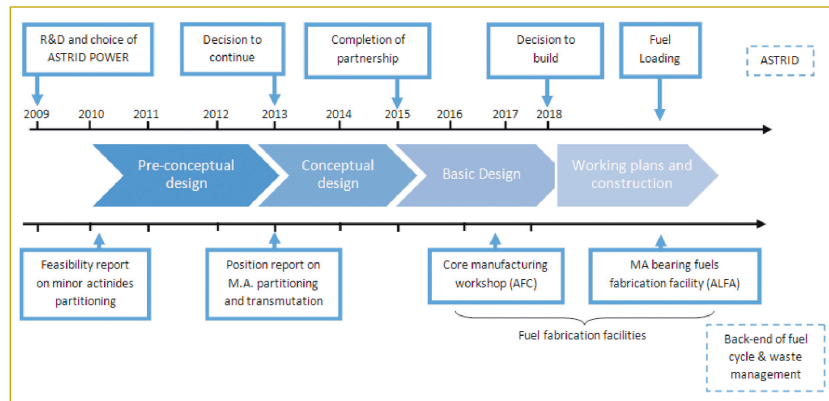


Figura 10. Cronograma del proyecto ASTRID.

en el proyecto: CSN, Enusa, ENSA, Empresarios Agrupados y el sector eléctrico, a través de sus empresas Tecnatom y Gas Natural Fenosa Engineering).

La aportación total del consorcio español al proyecto será de unos 10 millones de euros (del orden del 2% de la participación) en los seis años de la construcción del proyecto y se materializará básicamente en el suministro de importantes componentes del circuito primario por parte de Empresarios Agrupados (diseño) y ENSA (fabricación) y de un simulador para la preparación de los experimentos de irradiación (Tecnatom y Gas Natural Fenosa Engineering), así como otras actividades adicionales a realizar por el Ciemat y el CSN.

El Convenio Internacional con el CEA francés fue firmado por el Ciemat, en representación del consorcio español, a finales del año 2006. El *Consortium Agreement Internacional* fue firmado por el Ciemat en marzo de

2007, y el consorcio nacional fue firmado por todos los participantes en julio de 2007, más el anexo técnico del consorcio nacional, que fue firmado en junio de 2008.

Se han comenzado las obras del proyecto, y las diferentes participaciones de las entidades españolas en el proyecto está cumpliendo los hitos prefijados (Figura 12).

Grupo de formación

La formación es uno de los temas transversales clásicos de la plataformas tecnológicas de todas las disciplinas. En este contexto, el 17 de mayo de 2007 tuvo lugar una reunión en el Ministerio de Industria, Turismo Comercio con el fin de analizar la situación en nuestro país en relación con la disponibilidad de recursos humanos para atender a las necesidades que demanda el sector nuclear español, desde el punto de vista de las distintas instituciones y empresas que lo integran. Participaron en esta reunión representantes del Ministerio, CSN, Ciemat, Enresa, Enusa, Foro Nucleares, ENSA, Tecnatom y sector eléctrico. Este grupo elaboró un diagnóstico de la situación y necesidades de formación en ese momento de cada uno de los subsectores y se acordaron una serie de acciones.

Una de ellas fue la creación de un grupo, coordinando por el representante de las universidades, para preparar una recopilación y análisis de los estudios de postgrado (másteres) en materias nucleares existentes en España. Este análisis se finalizó en 2010, identificando 12 másteres que incluían en su temario aspectos sobre energía nuclear. Diez de estos cursos son oficiales, con créditos reconocidos y dos son de titulación propia. Se imparten másteres en Madrid (5), Bilbao (1), Valencia (3), Huelva (1) y Barcelona (2). La información actualizada sobre estos cursos y los enlaces

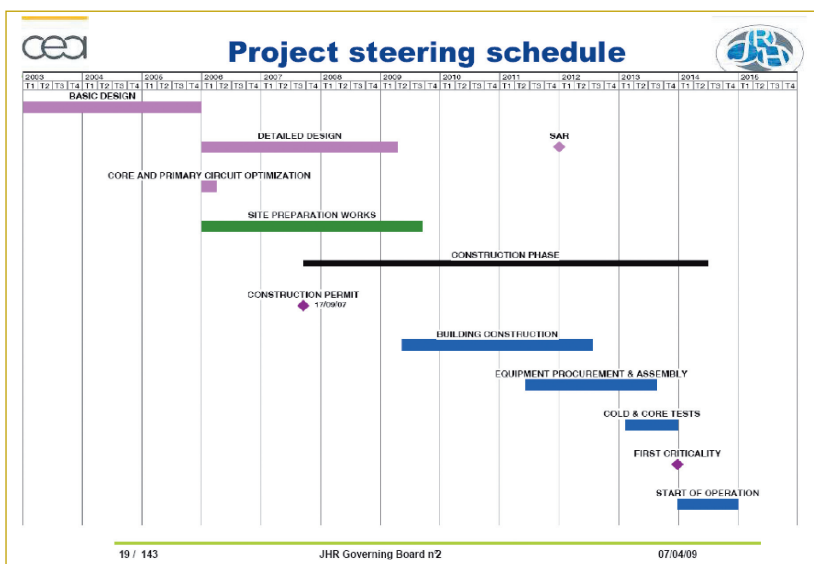


Figura 11.

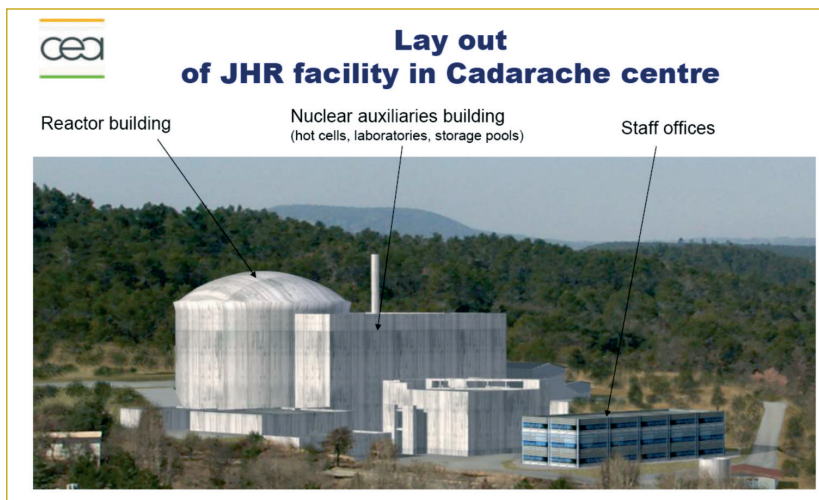


Figura 12.

Titulaciones Oficiales

- Máster Oficial en Ciencia y Tecnología Nuclear. UP Madrid
- Máster Universitario de Tecnología Energética para el desarrollo sostenible. UP Valencia
- Máster en Ingeniería Energética Sostenible. U País Vasco
- Máster Oficial en Tecnología e Instrumentación Nuclear. U Huelva
- Máster en Seguridad Industrial y Medio Ambiente. UP Valencia
- Máster Interuniversitario en Ingeniería de la Energía, especialidad Nuclear. UP Cataluña
- Máster universitario en Energía Nuclear. UP Cataluña
- Máster Universitario en Ingeniería de la Energía, especialidad Nuclear. UP Madrid
- Máster Erasmus Mundus: "EM in Nuclear Fusion Science and Engineering. U. Gent, Carlos III, UP Cataluña y UP Madrid
- Máster en Protección Radiológica en Instalaciones Radiactivas y Nucleares. UP Valencia, a distancia

Titulaciones Propias

- Máster en Ingeniería Nuclear y aplicaciones. UA Madrid y CIEMAT
- Máster en Tecnologías de Generación de Energía eléctrica. ETSII Madrid y Tecnatom

Tabla 4.

correspondientes con sus webs propia se ha incorporado a la web de Ceiden.

Los másteres existentes en 2010 se muestran en la Tabla 4.

En 2011 el Consejo Gestor de Ceiden decidió ampliar el alcance de esta iniciativa para incluir también la recopilación y análisis de las posibilidades de capacitación profesional en nuestro país en el área nuclear, con un doble propósito de identificar posibles carencias y de poder ofrecerlas como un catálogo para facilitar la participación en programas internacionales, básicamente en proyectos de cooperación y asistencia a terceros países, especialmente en Iberoamérica.

Este grupo está actualmente formado por representantes del Ciemat y Tecnatom (Coordinadores del grupo), CSN, Minetur, Enusa, Thunder España, Foro Nuclear, UPM, UAB, Universidad del País Vasco, Indra y Endesa.

Los objetivos actuales del grupo son:

1. Promover la coordinación de los programas de Educación y Entrenamiento sobre energía nuclear a escala nacional, tanto para conocer nuestros recursos, fortalezas y carencias, valorando si satisfacen las necesidades actuales y futuras, como para facilitar su exportación al exterior.
2. Promover el lanzamiento de proyectos de I+D avanzados en educación y entrenamiento que mejoren las capacidades disponibles a nivel nacional para el sector nuclear.
3. Promover y coordinar la participación española en programas de formación y entrenamiento internacionales (UE, Eurosafe, OIEA, Iberoamérica) mediante la creación y participación en redes y organizaciones nacionales e internacionales.
4. Fomentar la acreditación de la formación en el puesto de trabajo.

5. Actualización continua del portafolio de estudios nucleares y máster resultado del anterior Grupo de Formación.

Este grupo ha elaborado un cuestionario para conocer los cursos de capacitación existentes y las capacidades para creación de nuevos. Este cuestionario ha sido difundido entre los miembros de Ceiden y otras empresas del sector nuclear español y se están analizando las respuestas.

En paralelo, se han identificado el Consorcio ENSTIL, dirigido por el IRSN francés, como el más adecuado para tratar de incorporar a las entidades españolas interesadas a las iniciativas de promoción de la formación nuclear con fondos europeos. Con ello se estará en situación de incorporarse a los diferentes grupos que se monten en este consorcio para ofertar a las convocatorias que haga la UE en materia de formación. También se han presentado las tareas del grupo en una reunión sobre *Capacity building* celebrada del 17 al 20 de abril de 2012 en el OIEA, y que ha suscitado mucho interés entre los asistentes. Finalmente se estableció un contacto con la Red Iberoamericana de Formación Nuclear, Lanen.

Grupo de Capacidades de la Industria Nuclear Española para un nuevo proyecto nuclear

En los últimos proyectos de reactores de GII en España, la participación de la industria nuclear española alcanzó valores por encima del 80%, después de un desarrollo importante de las capacidades de esta industria en el programa nuclear de nuestro país. Algunas de las compañías que participaron en estas últimas construcciones, siguen activas en el mercado nuclear, debido en muchos casos a la internacionalización de sus actividades. Otras competencias, desarrolladas durante este periodo de tiempo, se han perdido.

El objetivo de este grupo, coordinado por Gas Natural Fenosa, con la participación de las empresas eléctricas Endesa, Gas Natural Fenosa e Iberdrola y el Foro Nuclear, y contando con la colaboración de los tecnólogos Westinghouse, General Electric-Hitachi y Areva, es analizar la situación de la industria nuclear española para abordar un nuevo proyecto nuclear en España y proponer actuaciones para mejorar esta situación.

La primera fase de este proyecto comenzó en el año 2007, y se realizó un listado de actividades para un nuevo proyecto nuclear genérico, que fue enviado a diferentes empresas del sector para que indicasen sus

capacidades. De estas aportaciones se concluyó sobre la necesidad de modificar el listado de actividades del nuevo proyecto, incrementando el grado de detalle de algunas de estas partidas, y de valorar económicamente estas partidas, aunque fuera de forma relativa para poder ponderar los totales de participación en un nuevo proyecto.

La segunda fase del proyecto comenzó en el último trimestre del año 2009 e incluía, además del mayor alcance identificado en la Fase 1, un análisis histórico de los últimos proyectos nucleares realizados en España. Para ello, se ha llevado a cabo la recuperación de la documentación existente sobre la participación de la industria nuclear española en los últimos proyectos nucleares.

La conclusión de este estudio retrospectivo es que la participación de las empresas españolas evoluciona desde un 43% al 86% desde la primera (C.N. José Cabrera) a la tercera etapa (C.N. Trillo) de las centrales nucleares actuales, suministrándose el 100% de la obra civil y montaje, el 95% de la ingeniería y el 78% de los equipos por empresas españolas. En el momento de máxima actividad, en el año 1980, estas obras generaban un empleo directo de unas 20.000 personas (más de 5.000 de alta cualificación) y un empleo indirecto de unas 50.000 personas, en múltiples empresas suministradoras de bienes y servicios.

El nuevo desglose de actividades incluía 14 actividades y 92 subactividades. Respondieron al cuestionario 41 empresa de todos los sectores, concluyéndose que la industria española tiene capacidades para realizar el 77% de un nuevo proyecto nuclear en el momento actual, con experiencia contrastada y que esta participación aumentaría a un 82% tras cinco años del lanzamiento de un nuevo programa nuclear en nuestro país.

El estudio ha dado lugar a la primera publicación de Ceiden titulada *Capacidades españolas para afrontar un nuevo proyecto nuclear* que es un documento bilingüe inglés-español, que fue presentado en la pasada Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española celebrada el 2011, en Burgos y ha tenido una amplia difusión y eco en diferentes entornos.

La tercera fase de esta iniciativa tiene como objetivo analizar las necesidades de cualificación de la cadena de suministradores para los nuevos proyectos nucleares, y promover que los suministradores españoles evalúen sus capacidades ante estas necesidades. Incluye las tareas de conocimiento del proceso de cualificación de suministradores para los nuevos



Figura 13.

proyectos nucleares de Generación III+, la transmisión a los potenciales suministradores de estos requisitos para que puedan hacer su propia autoevaluación sobre su grado de cumplimiento de los mismos y los esfuerzos necesarios para su cumplimiento. Entre los suministradores se plantean diferentes grupos en función de su experiencia en el sector nuclear dentro y fuera de nuestro país (Figura 13).

Otras actividades de Ceiden

Además de los programas de I+D que se coordinan en la plataforma tecnológica, se realizan las siguientes actividades:

- Seguimiento de actividades de la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear Sostenible Europea (SNE-TP).
- Seguimiento de los programas marco de energía nuclear de fisión europeos.
- Seguimiento de los planes de innovación del Ministerio de Ciencia e Innovación.
- Organización de seminarios técnicos.
- Realización de un mapa del I+D+i nuclear en España.
- Incremento de las relaciones con Latinoamérica en el ámbito de la I+D+i y la educación y entrenamiento nucleares.
- Participación en grupos de trabajo para búsquedas de sinergias entre las diferentes plataformas tecnológicas españolas.

CONCLUSIONES

La Plataforma Tecnológica Ceiden es un organismo de coordinación de las necesidades y esfuerzos de I+D a escala nacional en el campo de la energía nuclear. En ella están representadas más de 80 entidades, que representan

a todos los sectores relacionados con la I+D nuclear en España. Su labor permite plantear y abordar proyectos de forma conjunta por parte de las entidades que están afectadas por la problemática que pretenden resolver, y presentar una posición nacional única frente a las propuestas o los compromisos internacionales. En sus programas y grupos de trabajo están involucrados más de 100 técnicos e investigadores.

A través de los programas y actividades desplegados por esta plataforma, se están desarrollando importantes proyectos tecnológicos en el ámbito de la I+D+i nuclear, aprovechando las sinergias entre los diversos grupos y entidades del sector. Pero, por encima de todo, Ceiden persigue convertirse en un instrumento de cooperación que permita enfocar mejor la utilización de los recursos y esfuerzos de todos a favor de los intereses estratégicos de España, manteniendo y potenciando las capacidades nacionales en tecnología y seguridad nuclear.

Ceiden pretende asimismo colaborar con las autoridades del Plan Nacional de I+D para enfocar con la mayor eficacia posible la participación de España en las iniciativas europeas sobre desarrollo tecnológico en energía nuclear, en particular en los proyectos de la Plataforma e iniciativa industrial europeas para una energía nuclear más sostenible.

Por todo ello, los miembros de la plataforma tecnológica Ceiden invitan a las entidades interesadas a incorporarse a este proyecto que ya es una realidad, para crecer y lograr mejores perspectivas de futuro.

Más información puede obtenerse en la web: www.ceiden.com ■